

Tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung



© BSN 2012

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Gd. Manggala Wanabakti
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.
Telp. +6221-5747043
Fax. +6221-5747045
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	iv
1 Persyaratan umum.....	1
1.1 Ruang lingkup	1
1.2 Gambar dan spesifikasi.....	2
1.3 Pemeriksaan	3
1.4 Persetujuan sistem khusus dari desain atau pelaksanaan	3
2 Acuan normatif	4
3 Notasi, istilah dan definisi.....	5
3.1 Notasi	5
3.2 Isilah dan definisi	10
4 Beton pracetak	20
4.1 Ruang lingkup	20
4.2 Umum	20
4.3 Distribusi gaya di antara komponen struktur	20
4.4 Desain komponen struktur	21
4.5 Integritas struktural	21
4.6 Desain sambungan dan tumpuan.....	22
4.7 Benda-benda tertanam sesudah pengecoran beton.....	23
4.8 Penandaan dan identifikasi	24
4.9 Penanganan	24
4.10 Evaluasi kekuatan konstruksi pracetak.....	24
5 Komponen struktur lentur beton komposit.....	25
5.1 Ruang lingkup	25
5.2 Umum	25
5.3 Penopangan	28
5.4 Kekuatan geser vertikal.....	28
5.5 Kekuatan geser horisontal.....	28
5.6 Sengkang pengikat untuk geser horisontal.....	30
6 Beton prategang	31
6.1 Ruang lingkup	31
6.2 Umum	32
6.3 Asumsi desain	32
6.4 Persyaratan kemampuan layan – Komponen struktur lentur	35
6.5 tegangan ijin pada baja prategang	35

6.6	Kehilangan prategang	35
6.7	Kekuatan lentur	38
6.8	Batas untuk tulangan komponen struktur lentur	39
6.9	Tulangan lekatan minimum	41
6.10	Struktur statis tidak tentu	42
6.11	Komponen struktur tekan – Kombinasi beban lentur dan aksial	43
6.12	Sistem pelat	44
6.13	Zona Pengangkuran tendon pasca-tarik	44
6.14	Desain zona pengangkuran untuk strand tunggal atau batang tendon tunggal berdiameter 16 mm	47
6.15	Desain zona pengangkuran untuk tendon <i>strand</i> majemuk	48
6.16	Perlindungan terhadap korosi untuk tendon tanpa lekatan	48
6.17	Selongsong untuk sistem pasca-tarik	48
6.18	Grout untuk tendon dengan lekatan	49
6.19	Perlindungan untuk baja prategang	51
6.20	Pemberian dan pengukuran gaya prategang	51
6.21	Angkur dan penyambung pasca-tarik	51
6.22	Sistem pasca-tarik luar	52
7	Struktur Penahan Gempa	52
7.1	Persyaratan umum	52
7.2	Portal biasa	55
7.3	Portal momen menengah	55
7.4	Dinding struktural pracetak menengah	58
7.5	Komponen struktur lentur portal khusus	58
7.6	Komponen struktur portal khusus yang menahan beban lentur dan aksial	61
7.7	Joint portal khusus	61
7.8	Portal khusus yang terbuat dari beton pracetak	66
7.9	Dinding struktural khusus dan balok kopel	67
7.10	Dinding struktural khusus yang terbuat dari beton pracetak	71
7.11	Diafragma struktural dan rangka sendi	72
7.12	Fondasi	75
7.13	Komponen struktur yang bukan merupakan bagian sistem penahan gaya gempa	77
8	Dinding	78
8.1	Ruang lingkup	78
8.2	Umum	78
8.3	Tulangan minimum	79
8.4	Dinding yang didesain sebagai komponen struktur tekan	81
8.5	Metode desain empirik	81

8.6 Dinding tidak ditumpu.....	82
8.7 Dinding sebagai balok grid	82
8.8 Desain alternatif dinding langsing.....	82
Penjelasan	85
Bibliografi	148
Lampiran A (informatif) Deviasi	179



Prakata

Untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas kegiatan pembangunan gedung dengan sistem beton pracetak, diperlukan tata cara perancangan dan pelaksanaan yang menjadi acuan dasar yang berlaku secara nasional. Pembangunan sistem beton pracetak yang secara praktis dimulai tahun 1978 di Indonesia, dan yang secara masif dilakukan sejak diluncurkannya program seribu tower oleh pemerintah tahun 2004, Indonesia belum memiliki standar nasional dalam desain dan pembangunan sistem beton pracetak.

Kebutuhan nasional yang vital akan tata cara perancangan dan pelaksanaan pembangunan sistem beton pracetak, telah dijawab dengan dibentuknya tim penyusun SNI Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Prategang untuk Bangunan Gedung oleh Balitbang Kementerian Pekerjaan Umum. Tim tersebut dikelola oleh Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia (IAPPI), didukung oleh instansi perguruan tinggi dan ahli pracetak dan prategang nasional.

SNI Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Prategang untuk Bangunan Gedung disusun terutama berdasarkan ACI 318-08 dengan menggunakan pasal-pasal yang berkaitan dengan beton pracetak, prategang, dan beton komposit.

Tim menyampaikan ucapan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu penyusunan standar ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ketua Panitia Teknis, Ketua Sub Panitia Teknis dan para Anggota Subpanitia Teknis, berikut para pengetik naskah dan pelaksana penggambaran yang telah melakukan tugasnya dengan baik.

Tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung

1 Persyaratan umum

1.1 Ruang lingkup

1.1.1 Standar ini menetapkan persyaratan minimum untuk perancangan dan pelaksanaan komponen struktur beton struktural dari setiap ereksi struktur sesuai persyaratan standar yang berlaku untuk bangunan gedung umum. Pada daerah yang tidak menggunakan standar bangunan yang berlaku pada daerah tersebut, standar ini boleh digunakan sebagai standar minimum untuk material, desain dan pelaksanaan. Standar ini juga mencakup evaluasi kekuatan struktur beton yang sudah berdiri.

Untuk beton struktural, f'_c tidak boleh kurang dari 17 MPa. Tidak ada nilai f'_c maksimum yang ditetapkan kecuali diatur oleh ketentuan peraturan yang spesifik.

1.1.2 Standar ini melengkapi ketentuan standar bangunan gedung secara umum dan mengatur segala hal yang berkaitan dengan perancangan dan pelaksanaan beton struktural, kecuali di mana ketentuan ini bertentangan dengan persyaratan bangunan gedung yang sah berlaku.

1.1.3 Standar ini mengatur segala hal terkait dengan desain, pelaksanaan, dan sifat-sifat material jika ada pertentangan persyaratan antara standar ini dengan persyaratan yang terkandung di dalam standar-standar lain.

1.1.4 Untuk fondasi yang dicor di tempat, dinding fondasi, dan pelat di atas tanah untuk rumah tunggal dan rumah deret dan asesoris struktur tersebut, desain dan pelaksanaannya harus dilakukan sesuai dengan ACI 332.

1.1.5 Standar ini mengatur struktur khusus, seperti struktur lengkungan, silo dan bangunan kedap udara, struktur tahan ledakan, dan cerobong asap, ketentuan-ketentuan standar ini boleh diterapkan. Lihat juga 22.1.3 ACI 318-08.

1.1.6 Standar ini tidak mengatur desain dan pemasangan bagian dari tiang beton, tiang jembatan yang di bor, dan kaisan yang ditanam di bawah tanah kecuali untuk struktur-struktur pada desain gempa Kategori D, E dan F. Lihat 7.12.4 untuk persyaratan tiang pancang beton, tiang bor jembatan, dan kaisan pada struktur yang didesain untuk tahan gempa Kategori D, E dan F.

1.1.7 Standar ini tidak mengatur desain dan pelaksanaan pelat yang ditumpu di atas tanah, kecuali pelat yang menyalurkan beban vertikal atau gaya lateral dari bagian struktur lain dalam tanah tersebut.

1.1.8 Beton pada dek baja

1.1.8.1 Desain dan pelaksanaan pelat beton struktural cor di tempat, dek baja non-komposit diatur oleh standar ini.

1.1.8.2 Standar ini tidak mengatur desain pelat beton struktural cor di tempat, dek baja komposit. Bila diterapkan, beton yang digunakan dalam pelaksanaan pelat yang demikian

harus memenuhi ketentuan Bab 1 ACI 318-08 sampai Bab 6 ACI 318-08. Bagian-bagian pelat yang didesain sebagai beton bertulang, diatur oleh standar ini.

1.1.9 Ketentuan untuk ketahanan gempa

1.1.9.1 Kategori desain gempa suatu struktur harus ditentukan sesuai dengan peraturan bangunan gedung yang berlaku pada mana standar ini merupakan bagian dari padanya, atau ditetapkan oleh pihak yang berwenang di daerah yang tidak memiliki peraturan bangunan gedung yang berlaku.

1.1.9.2 Semua struktur harus memenuhi ketentuan yang berlaku dalam Pasal 7, kecuali yang digolongkan desain gempa kategori A dan yang dikecualikan oleh peraturan bangunan gedung yang berlaku. Lihat 7.1.1.

1.1.10 Standar ini tidak berlaku untuk desain dan pelaksanaan tangki dan reservoir.

1.2 Gambar dan spesifikasi

1.2.1 Lembar gambar desain, detail tipikal, dan spesifikasi untuk semua pelaksanaan beton struktural harus mencantumkan bukti dari desainer profesional yang mempunyai sertifikat. Gambar, detail, dan spesifikasi ini harus menunjukkan:

- (a) Nama dan tanggal penerbitan standar dan lampiran yang digunakan dalam desain;
- (b) Beban hidup dan beban lainnya yang digunakan dalam desain;
- (c) Kekuatan tekan beton yang disyaratkan pada umur yang ditetapkan atau tahap pelaksanaan setiap bagian struktur yang didesain;
- (d) Kekuatan yang disyaratkan dari tulangan atau mutu tulangan;
- (e) Ukuran dan lokasi dari semua elemen struktural, tulangan, dan angkur;
- (f) Ketentuan untuk perubahan dimensi yang diakibatkan rangkai, susut, dan temperatur;
- (g) Besar dan lokasi gaya prategang;
- (h) Panjang penjangkaran tulangan dan lokasi serta panjang sambungan lewatan;
- (i) Tipe dan lokasi sambungan mekanikal dan sambungan las tulangan;
- (j) Detail dan lokasi dari semua joint kontraksi atau isolasi yang disyaratkan pada beton polos dalam Pasal 22 ACI 318-08;
- (k) Kekuatan tekan minimum beton pada saat pasca-tarik;
- (l) Urutan penarikan untuk tendon pasca-tarik;
- (m) Pernyataan jika pelat di atas tanah yang didesain sebagai diafragma struktural, lihat 7.12.3.4;

1.2.2 Penghitungan yang berkaitan dengan desain harus dituangkan dengan penggambaran bila diperlukan oleh pejabat bangunan gedung. Analisis dan desain yang dilakukan dengan menggunakan program komputer boleh dilakukan asalkan asumsi desain, data masukan,

dan data keluaran yang dihasilkan komputer disampaikan. Analisis model boleh dilakukan untuk perhitungan tambahan.

1.3 Pemeriksaan

1.3.1 Pelaksanaan beton harus diperiksa seperti disyaratkan oleh standar bangunan gedung umum yang sah berlaku. Bila pemeriksaan tidak dilakukan, pelaksanaan beton harus diperiksa dalam keseluruhan tahap pekerjaan oleh atau di bawah pengawasan dari desainer profesional bersertifikat atau oleh inspektur berkualifikasi.

1.3.2 Pemeriksa harus mensyaratkan kesesuaian dengan gambar desain dan spesifikasi. Kecuali disyaratkan lain dalam standar bangunan gedung umum yang sah berlaku, catatan pemeriksaan harus mencakup:

- (a) Laporan pengiriman, penempatan dan pengujian yang mencantumkan kuantitas, lokasi penempatan, pengujian beton segar, kekuatan, dan pengujian lain semua kelas campuran beton;
- (b) Pelaksanaan dan pembongkaran cetakan dan penopangan kembali;
- (c) Penempatan tulangan dan angkur;
- (d) Pencampuran, pengecoran, dan perawatan beton;
- (e) Urutan dari ereksi dan penyambungan komponen struktur pracetak;
- (f) Penarikan tendon;
- (g) Setiap pelaksanaan pembebanan yang signifikan pada lantai, komponen struktur, atau dinding;
- (h) Kemajuan kerja secara umum.

1.3.3 Bila temperatur ambien turun di bawah 4 °C atau meningkat di atas 35 °C, temperatur beton harus dicatat dan perlindungan harus diberikan selama pengecoran dan perawatan.

1.3.4 Catatan pemeriksaan yang diperlukan dalam 1.3.2 dan 1.3.3 harus disimpan secara baik oleh insinyur atau arsitek pemeriksa selama 2 tahun setelah penyelesaian proyek.

1.3.5 Untuk portal khusus yang didesain sesuai Pasal 7, harus dilakukan pemeriksaan menerus dalam penempatan tulangan dan beton oleh pengawas berkualifikasi. Pengawas yang bekerja di bawah desainer profesional bersertifikat yang bertanggung jawab atas desain struktural, atau di bawah pengawasan desainer profesional bersertifikat dengan menunjukkan kemampuan untuk mengawasi pemeriksaan pelaksanaan portal khusus.

1.4 Persetujuan sistem khusus dari desain atau pelaksanaan

Penanggung jawab dari setiap desain atau pelaksanaan dalam lingkup standar ini, kecukupan yang telah ditunjukkan oleh keberhasilan penerapan atau oleh analisis atau pengujian, namun tidak memenuhi atau dicakup oleh standar ini, memiliki hak untuk mempresentasikan data atas mana desain didasarkan, kepada pejabat bangunan gedung atau komisi pemeriksa yang diangkat oleh pejabat bangunan gedung. Komisi ini harus terdiri dari insinyur yang kompeten dan memiliki wewenang untuk memeriksa data yang dimasukkan, mensyaratkan pengujian, dan memformulasikan aturan desain dan pelaksanaan sistem yang demikian untuk memenuhi tujuan dari standar ini. Aturan ini, jika

disetujui oleh pejabat bangunan gedung yang berwenang dan diumumkan (diberlakukan) harus berkekuatan dan memiliki pengaruh yang sama seperti ketentuan-ketentuan dari standar ini.

2 Acuan normatif

ACI 318M-08, *Building Code Requirements for Structural Concrete*.

ASTM A82/A82M-07, *Standard Specification for Steel Wire, Plain, for Concrete Reinforcement*.

ASTM A184/A184M-06, *Standard Specification for Welded Deformed Steel Bar Mats for Concrete Reinforcement*.

ASTM A185/A185M-07, *Standard Specification for Steel Welded Wire Reinforcement, Plain, for Concrete*.

ASTM A416/A416M-06, *Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete*.

ASTM A421/A421M-05, *Standard Specification for Uncoated Stress-Relieved Steel Wire for Prestressed Concrete*.

ASTM A496/A496M-07, *Standard Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement*.

ASTM A497/A497M-07, *Standard Specification for Steel Welded Wire Reinforcement, Deformed, for Concrete*.

ASTM A615/A615M-07, *Standard Specification for Deformed and Plain Carbon Steel Bars for concrete reinforcement*.

ASTM A706/A706M-06a, *Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement*.

ASTM A722/A722M-07, *Standard Specification for Uncoated High-Strength Steel Bars for Prestressing Concrete*.

ASTM A767/A767M-05, *Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement*.

ASTM A775/A775M-07a, *Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars*.

ASTM A884/A884M-06, *Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Wire and Welded Wire Reinforcement*.

ASTM A934/A934M-07, *Standard Specification for Epoxy-Coated Prefabricated Steel Reinforcing Bars*.

ASTM A955/A955M-07a, *Standard Specification for Deformed and Plain Stainless-Steel Bars for Concrete Reinforcement*.

ASTM A996/A996M-06a, *Standard Specification for Rail-Steel and Axle-Steel Deformed Bars for Concrete Reinforcement*.

ASTM A1022/A1022M-07, *Standard Specification for Deformed and Plain Stainless Steel Wire and Welded Wire for Concrete Reinforcement*.

ASTM C33-03, *Standard Specification for Concrete Aggregates*.

ASTM C144-04, *Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*.

ASTM C150-05, *Standard Specification for Portland Cement*.

ASTM C260-06, *Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete*.

ASTM C330-05, *Standard Specification for Light-weight Aggregates for Structural Concrete*.

ASTM C494/C494M-05a, *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.

ASTM C567-05a, *Standard Test Method for Determining Density of Structural Light-weight Concrete*.

ASTM C595-07, *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*.

ASTM C618-05, *Standard Specification for Coal Fly Ash And Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*.

ASTM C845-04, *Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement*.

ASTM C989-06, *Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars*.

ASTM C1017/C1017M-03, *Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete*.

ASTM C1157-03, *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement*.

ASTM C1240-05, *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*.

3 Notasi, istilah dan definisi

3.1 Notasi

Simbol	Definisi	Referensi
A_c	luas penampang beton yang memikul pemindahan gaya geser	Bab 7
A_{cf}	luas penampang bruto terbesar dari lajur balok-pelat yang diambil dari dua rangka ekuivalen yang saling tegak lurus dan memotong pada lokasi sebuah kolom dari suatu pelat dua arah, mm ²	Bab 6
A_{ch}	luas penampang komponen struktur diukur dari sisi luar ke sisi luar tulangan transversal, mm ²	Bab 7
A_{ct}	luas dari bagian penampang melintang antara muka tarik lentur dan pusat gravitas penampang bruto, mm ²	Bab 6
A_{cv}	luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau, mm ²	Bab 7
A_{cw}	luas penampang beton dari suatu pilar saja, segmen dinding horisontal, balok kopel penahan geser, mm ²	Bab 7
A_g	luas penampang bruto beton, mm ² . Untuk suatu penampang berongga, A_g adalah luas beton saja dan tidak termasuk luas rongga/void(s)	Bab 4, Bab 7, Bab 8
A_j	luas penampang melintang efektif di dalam suatu joint pada suatu bidang yang sejajar dengan bidang dari tulangan yang menimbulkan geser pada joint tersebut, mm ² , lihat 7.7.4.1	Bab 7
A_{ps}	luas tulangan prategang dalam daerah tarik, mm ²	Bab 6
A_s	luas tulangan tarik longitudinal non-prategang, mm ²	Bab 6, Bab 8
A_{sh}	luas penampang melintang total tulangan transversal (termasuk sengkang pengikat) dalam spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi b_c , mm ²	Bab 7
A_{st}	luas total tulangan longitudinal non prategang (batang tulangan atau bentuk-bentuk baja lainnya), mm ²	Bab 7

Simbol	Definisi	Referensi
A_v	luas tulangan geser dalam daerah sejarak s , mm^2	Bab 5
A_{vd}	luas total tulangan setiap kelompok batang tulangan diagonal pada balok kopel yang ditulangi secara diagonal, mm^2	Bab 7
A_{vf}	luas tulangan geser-friksi, mm^2	Bab 7
$A_{v,min}$	luas minimum tulangan geser di dalam daerah sejarak s , mm^2 , Pasal 11 ACI 318-08	Bab 5
A_1	luas yang dibebani, mm^2 , Pasal 10 ACI 318-08, Pasal 22 ACI 318-08	Bab 4
A_2	luas dasar paling bawah dari frustum terbesar piramida, kerucut, ataubaji meruncing terisi seluruhnya ditumpuandan yang memilikialas paling atasnya sebagai luas yang dibebani, dan memiliki kemiringan sisi dari vertikal 1 terhadap horisontal 2, mm^2 , Pasal 10 ACI 318-08, Pasal 22 ACI 318-08	Bab 4
b_c	dimensi penampang melintang dari inti komponen struktur diukur ke tepi terluar dari area penyusunan tulangan transversal A_{sh} , mm	Bab 7
b_v	lebar penampang melintang pada bidang kontak yang ditinjau terhadap geser horisontal, mm	Bab 5
b_w	lebar badan, atau diameter penampang lingkaran, mm	Bab 7
c	jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral, mm	Bab 7, Bab 8
c_t	jarak dari muka kolom interior ke tepi pelat diukur paralel terhadap c_1 , tetapi tidak melampaui c_1 , mm	Bab 7
c_1	dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom, atau konsol pendek diukur dalam arah bentang dimana momen dihitung, mm	Bab 7
d	jarak dari serat tekan ke titik berat tulangan tarik longitudinal, mm	Bab 5, Bab 6, Bab 7, Bab 8
d'	jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tekan longitudinal, mm	Bab 6
d_b	diameter nominal batang tulangan, kawat, atau strand prategang, mm	Bab 7
d_p	jarak dari serat tekan terluar ke titik berat baja prategang, mm	Bab 6
D	beban mati, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban tersebut	Bab 7
e	dasar logaritma Napier	Bab 6
E	pengaruh beban gempa, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban tersebut	Bab 7
E_c	modulus elastisitas beton, MPa	Bab 8
E_s	modulus elastisitas tulangan dan baja struktural, MPa	Bab 8
f'_c	kekuatan tekan beton yang disyaratkan, MPa	Bab 6, Bab 7, Bab 8
$\sqrt{f'_c}$	nilai akar dari kekuatan tekan beton yang disyaratkan, MPa	Bab 6, Bab 7
f'_{ci}	kekuatan tekan beton yang disyaratkan pada saat pemberian prategang awal, MPa	Bab 6
$\sqrt{f'_{ci}}$	nilai akar kekuatan tekan beton yang disyaratkan pada saat pemberian prategang awal, MPa	Bab 6
f_{ct}	kekuatan tarik belah rata-rata beton ringan, MPa	Bab 3
f_{dc}	penurunan tegangan tekan; tegangan dalam baja prategang apabila tegangan adalah nol dalam beton pada level yang	Bab 6

Simbol	Definisi	Referensi
	sama sebagai titik berat baja prategang, MPa	
f_{ps}	tegangan dalam baja prategang pada saat penampang mencapai kekuatan lentur nominal, MPa	Bab 6
f_{pu}	kekuatan tarik baja prategang yang disyaratkan, MPa	Bab 6
f_{py}	kekuatan leleh baja prategang yang disyaratkan, MPa	Bab 6
f_r	modulus keruntuhan beton, MPa	Bab 6, Bab 8
f_s	tegangan tulangan tarik yang dihitung akibat beban layan, MPa	Bab 6
f_{se}	tegangan efektif dalam baja prategang (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi), MPa	Bab 6
f_t	tegangan tarik serat terluar dalam zona tarik prategang dihitung akibat beban layan menggunakan properti penampang bruto, MPa, lihat 6.3.3	Bab 6
f_y	kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan, MPa	Bab 5, Bab 6, Bab 7, Bab 8
f_{yt}	kekuatan leleh yang disyaratkan f_y dari tulangan transversal, MPa	Bab 7
h	ketebalan keseluruhan atau tinggi komponen struktur, mm	Bab 5, Bab 6, Bab 7, Bab 8
h_w	tinggi seluruh dinding dari dasar sampai bagian paling atas atau tinggi segmen dinding yang ditinjau, mm	Bab 7
h_x	spasi horisontal maksimum pusat ke pusat dari sengkang pengikat melintang atau kaki sengkang melingkar pada semua muka-muka kolom, mm	Bab 7
I_g	momen inersia penampang beton bruto terhadap sumbu titik berat, dengan mengabaikan tulangan, mm ⁴	Bab 8
k	faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan	Bab 8
K	koefisien friksi wobble per meter dari tendon	Bab 6
l	panjang bentang balok atau pelat satu arah; proyeksi bersih kantilever, mm	Bab 5
l_c	panjang komponen struktur tekan dalam suatu portal, diukur pusat-ke-pusat joint pada portal, mm	Bab 8
l_d	panjang penyaluran tarik dari batang tulangan ulir, kawat ulir, polos dan tulangan kawat ulir di las, atau strand pratarik, mm	Bab 7
l_{dh}	panjang penyaluran batang tulangan tarik ulir, kawat ulir dengan kait standar, diukur dari penampang kritis ke ujung kait terluar (panjang tertanam lurus antara penampang kritis dan mulai dari kait [titik dari tangensial] ditambah radius bengkokkan dalam dan diameter satu batang tulangan), mm, lihat 7.7.5	Bab 7
l_n	panjang bentang bersih diukur muka ke muka tumpuan, mm	Bab 4, Bab 6, Bab 7
l_o	panjang, diukur dari muka joint sepanjang sumbu komponen struktur, dimana harus disediakan tulangan transversal, mm	Bab 7
l_{px}	jarak dari ujung jacking dari elemen baja prategang ke titik yang ditinjau, m, lihat Pasal 6.6.2	Bab 6
l_t	panjang bentang komponen struktur di bawah uji beban, diambil sebagai bentang terpendek untuk sistem pelat dua arah, mm. Panjang bentang terkecil dari : (a) jarak antara	Bab 4

Simbol	Definisi	Referensi
	pusat tumpuan, dan (b) bentang bersih antara tumpuan di tambah tinggi komponen struktur h . Panjang bentang kantilever harus di ambil sebesar dua kali jarak dari muka tumpuan ke ujung kantilever	
ℓ_w	panjang keseluruhan dinding atau segmen dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser, mm	Bab 7, Bab 8
L	beban hidup, atau dihubungkan dengan momen internal dan gaya internal	Bab 7
L_r	beban hidup atap, atau dihubungkan dengan momen internal dan gaya internal, pasal 9 ACI 318-08	Bab 4
M_a	momen maksimum dalam komponen struktur akibat beban layan pada tingkat lendutan yang dihitung, N-mm	Bab 8
M_{cr}	momen retak, N-mm	Bab 8
M_n	kekuatan lentur nominal penampang, N-mm	Bab 6, Bab 7, Bab 8
M_{nb}	kekuatan lentur balok nominal termasuk pelat dimana dalam posisi tarik, yang merangka ke dalam joint, N-mm, lihat 7.6.2.2	Bab 7
M_{nc}	kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, dihitung untuk gaya aksial terfaktor, sesuai dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah, N-mm, lihat 7.6.2.2	Bab 7
M_{pr}	kekuatan lentur komponen struktur yang mungkin terjadi, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan dengan menggunakan sifat komponen struktur pada muka-muka joint yang dianggap tegangan tarik pada batang tulangan longitudinal paling sedikit $1,25 f_y$ dan faktor reduksi kekuatan $\phi = 1,0$, N-mm	Bab 7
M_{pelat}	bagian dari momen pelat terfaktor yang seimbang dengan momen pendukung, N-mm	Bab 7
M_u	momen terfaktor di penampang, N-mm	Bab 7, Bab 8
M_{ua}	momen pada tengah tinggi dinding akibat beban lateral terfaktor dan beban vertikal eksentris, tidak termasuk efek $P\Delta$, N-mm	Bab 8
n	jumlah dari item, misal uji kekuatan, batang tulangan, kawat, perangkat angkur strand tunggal, angkur, atau shearhead arms	Bab 6
N_c	gaya tarik dalam beton akibat beban mati tak terfaktor ditambah beban hidup, N	Bab 6
P_n	kekuatan aksial nominal penampang silang, N	Bab 8
P_{pj}	gaya prategang di ujung jacking, N	Bab 6
P_{pu}	gaya prategang terfaktor dalam perangkat angkur, N	Bab 6
P_{px}	gaya prategang yang ditinjau pada jarak ℓ_{px} dari ujung jacking, N	Bab 6
P_s	beban aksial tak-terfaktor pada desain penampang (tengah-tinggi) termasuk efek berat sendiri, N	Bab 8
P_u	gaya aksial terfaktor; ambil positif untuk tekanan dan negatif untuk tarik, N	Bab 7
s	jarak dari pusat ke pusat tulangan longitudinal, transversal, tendon prategang, kawat, atau angkur, mm	Bab 5, Bab 6, Bab 7

Simbol	Definisi	Referensi
s_o	jarak dari pusat ke pusat tulangan transversal di dalam panjang ℓ_o , mm	Bab 7
S_e	momen, gaya geser, atau gaya aksial pada sambungan sehubungan dengan pengembangan kekuatan yang mungkin terjadi pada lokasi leleh yang direncanakan, berdasarkan mekanisme yang mempengaruhi deformasi lateral inelastik, dengan memperhatikan pengaruh beban gravitasi dan beban gempa	Bab 7
S_n	kekuatan lentur nominal, kekuatan geser, atau kekuatan aksial sambungan	Bab 7
S_y	kekuatan leleh sambungan, berdasarkan f_y , untuk momen, gaya geser, atau gaya aksial	Bab 7
v_n	tegangan geser nominal, MPa	Bab 7
V_c	kekuatan geser nominal yang disumbangkan oleh beton, N	Bab 7
V_{cw}	kekuatan geser nominal yang tersedia pada beton ketika retak diagonal menghasilkan tegangan tarik tinggi utama dalam badan, N	Bab 5
V_e	gaya geser desain sehubungan dengan pengembangan kekuatan momen komponen struktur yang mungkin akan terjadi, N, lihat 7.5.4.1 dan 7.6.5.1	Bab 7
V_n	kekuatan geser nominal, N	Bab 7
V_{nh}	kekuatan geser horisontal nominal, N	Bab 5
V_u	gaya geser terfaktor pada penampang, N	Bab 5, Bab 7
V_{ug}	gaya geser terfaktor pada penampang kritis pelat untuk aksi dua arah akibat beban gravitasi, N, lihat 7.13.6	Bab 7
α	sudut yang mendefinisikan orientasi dari tulangan	Bab 7
α_c	koefisien yang mendefinisikan kontribusi relatif dari kekuatan beton ke kekuatan geser dinding nominal, lihat 7.9.4.1	Bab 7
α_{px}	perubahan sudut total dari profil tendon dari ujung tendon jacking ke titik yang ditinjau, radian	Bab 6
β_1	faktor yang berhubungan dengan kedalaman ekuivalen blok tegangan tekan persegi terhadap tinggi sumbu netral	Bab 6
γ_f	faktor yang digunakan untuk menentukan momen yang tidak seimbang yang dipindahkan oleh lentur pada sambungan pelat-kolom	Bab 7
γ_p	faktor untuk tipe baja prategang, lihat 6.7.2	Bab 6
δ_u	perpindahan desain, mm	Bab 7
Δf_{ps}	tegangan dalam baja prategang pada saat bekerja beban layan kurang dari dari tegangan yang mengalami penurunan tekanan, MPa	Bab 6
Δ_n	defleksi keluar bidang gambar dihitung pada tengah-tinggi dinding terkait kekuatan lentur nominal, M_n , mm	Bab 8
Δ_r	perbedaan antara defleksi awal dan akhir untuk uji beban atau uji beban pengulangan (setelah perpindahan beban), mm	Bab 4
Δ_1	lendutan maksimum yang diukur sewaktu uji beban pertama, mm	Bab 4
Δ_2	lendutan maksimum yang diukur sewaktu uji beban kedua relatif terhadap posisi struktur pada awal uji kedua, mm	Bab 4

Simbol	Definisi	Referensi
λ	faktor modifikasi yang menggambarkan sifat mekanikal beton ringan tereduksi, semua relatif terhadap beton normal dari kekuatan tekan yang sama	Bab 7
λ_{Δ}	pengali untuk penambahan lendutan akibat pengaruh jangka panjang, lihat 5.2.7.1.4 (9.5.2.5 ACI 318-08)	Bab 5
μ	koefisien friksi	Bab 7
μ_p	koefisien friksi kelengkungan pasca-tarik	Bab 6
ξ	faktor ketergantungan waktu untuk beban yang bersifat tetap, Pasal 9 ACI 318-08	Bab 5
ρ	rasio A_s terhadap bd	Bab 7
ρ'	rasio A'_s terhadap bd	Bab 5
ρ_b	rasio A_s terhadap bd yang menghasilkan kondisi regangan berimbang	Bab 8
ρ_{ℓ}	rasio luas tulangan longitudinal yang terdistribusi terhadap luas beton bruto yang tegak lurus terhadap tulangan tersebut	Bab 7, Bab 8
ρ_p	rasio dari A_{ps} terhadap bd_p	Bab 6
ρ_s	rasio volume tulangan spiral terhadap volume total inti beton yang terkekang oleh tulangan spiral (diukur dari sisi luar ke sisi luar tulangan spiral)	Bab 7
ρ_t	rasio luas tulangan transversal yang terdistribusi terhadap luas beton bruto yang tegak lurus pada tulangan tersebut	Bab 7, Bab 8
ρ_v	rasio luas tulangan sengkang pengikat terhadap luas permukaan kontak, Pasal 5.5.3.3	Bab 5
ϕ	faktor reduksi kekuatan	Bab 5, Bab 6, Bab 7, Bab 8
ω	indeks tulangan tarik, lihat 6.7.2	Bab 6
ω'	indeks tulangan tekan, lihat 6.7.2	Bab 6

3.2 Istilah dan definisi

Istilah yang berikut didefinisikan untuk penggunaan umum dalam standar ini. Definisi khusus terlihat dalam masing-masing bab.

3.3.1

Batang ulir berkepala

Batang tulangan ulir dengan kepala yang dilekatkan pada satu atau kedua ujung. Kepala dilekatkan pada ujung batang dengan cara pengelasan atau penempaan terhadap batang. Ulir dalam di kepala dipasangkan dengan ulir pada ujung batang, atau mur berulir dalam yang terpisah dalam mengamankan kepala batang. Luas neto tumpuan batang ulir berkepala sama dengan luas bruto kepala dikurangi luas terbesar antara batang dan luas daerah yang terganggu.

3.3.2

Beban hidup

Semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan/atau beban akibat air hujan pada atap.

3.3.3**Beban kerja**

Beban yang digunakan dalam perencanaan elastis komponen struktur.

3.3.4**Beban mati**

Berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala beban tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut.

3.3.5**Beban terfaktor**

Beban yang telah dikalikan dengan faktor beban yang sesuai serta digunakan untuk merencanakan komponen struktur dengan metode desain kekuatan.

3.3.6**Beton**

Campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan.

3.3.7**Beton bertulang**

Beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja sama dalam menahan gaya yang bekerja.

3.3.8**Beton normal**

Beton yang mempunyai agregat sesuai ASTM C33.

3.3.9**Beton polos**

Beton tanpa tulangan atau mempunyai tulangan tetapi kurang dari ketentuan minimum untuk beton bertulang.

3.3.10**Beton pracetak**

Elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan.

3.3.11**Beton prategang**

Beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban.

3.3.12**Beton ringan**

Beton yang mengandung agregat ringan dan densitas berimbang di antara 140 kg/m^3 dan 840 kg/m^3 sesuai ASTM C567.

3.3.13**Beton ringan-pasir**

Beton ringan yang semua agregat halusnya merupakan pasir berat normal sesuai dengan ASTM C33 dan agregat kasar ringan sesuai ASTM C330.

3.3.14

Beton ringan-total

Beton ringan yang mengandung agregat kasar dan halus ringan sesuai ASTM C330.

3.3.15

Daerah sendi plastis

panjang elemen portal pada mana leleh lentur diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa, diperpanjang tidak kurang dari jarak h dari penampang kritis di mana leleh lentur berawal. Lihat Pasal 7.

3.3.16

Dasar struktur

Level pada mana gerak tanah horisontal akibat gempa diasumsikan dikenakan pada bangunan. Level ini tidak harus berimpit dengan level permukaan tanah. Lihat Pasal 7.

3.3.17

Densitas berimbang

Densitas beton ringan setelah berada dalam lingkungan kelembaban relatif $(50 \pm 5) \%$ dan temperatur $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ untuk jangka waktu yang cukup dalam mencapai densitas konstan. (Lihat ASTM C567).

3.3.18

Diafragma struktural

Komponen struktural seperti pelat lantai atau atap yang menyalurkan gaya yang bekerja pada bidang komponen struktur ke elemen vertikal sistem penahan gaya gempa. Lihat Pasal 7 untuk persyaratan struktur penahan gempa.

3.3.19

Dinding

Komponen struktur, biasanya vertikal, digunakan untuk melingkupi atau memisahkan ruangan.

3.3.20

Dinding struktural

Komponen dinding yang direncanakan menahan kombinasi geser, momen, dan gaya aksial. Dinding geser adalah dinding struktural. Dinding struktural sebagai bagian sistem penahan gaya gempa harus dikategorikan sebagai berikut :

3.3.20.1

Dinding beton polos struktural biasa

Dinding sesuai dengan persyaratan Pasal 22 ACI 318M-08.

3.3.20.2

Dinding struktural beton bertulang biasa

Dinding sesuai dengan persyaratan Pasal 4 sampai Pasal 6 dan Pasal 8. (Pasal 1 ACI 318M-08 sampai Pasal 18 ACI 318M-08).

3.3.20.3

Dinding struktur pracetak menengah

Dinding yang memenuhi semua persyaratan yang berlaku dalam Pasal 4 sampai Pasal 6 dan Pasal 8 (Pasal 1 ACI 318M-08 sampai Pasal 18 ACI 318M-08) selain Pasal 7.4.

3.3.20.4**Dinding struktural khusus**

Dinding cor di tempat atau dinding pracetak yang memenuhi persyaratan Pasal 7.1.3. sampai Pasal 7.1.7, Pasal 7.9, dan Pasal 7.10, selain persyaratan untuk dinding struktural beton bertulang biasa.

3.3.21**Dokumen kontrak**

Dokumen, termasuk gambar proyek dan spesifikasi proyek, serta mencakup pekerjaan yang diperlukan.

3.3.22**Elemen kolektor**

Elemen tarik atau tekan aksial yang menyalurkan gaya akibat gempa antara diafragma struktural dan elemen vertikal sistem penahan gaya gempa.

3.3.23**Elemen pembatas**

Bagian sepanjang dinding struktural dan tepi diafragma struktural yang diperkuat dengan tulangan longitudinal dan transversal. Elemen pembatas tidak perlu mensyaratkan penebalan dinding atau diafragma. Tepi bukaan dalam dinding dan diafragma harus diberi elemen pembatas seperti disyaratkan 7.9.6 atau 7.11.7.5.

3.3.24**Elemen pembatas khusus**

Elemen pembatas yang disyaratkan oleh Pasal 7.9.6.2 atau 7.9.6.3

3.3.25**Friksi kelengkungan**

Friksi yang diakibatkan oleh bengkokan atau kurva di dalam profil tendon prategang yang ditetapkan.

3.3.26**Friksi wobble**

Friksi dalam beton prategang yang disebabkan oleh deviasi yang tidak disengaja pada penempatan selongsong prategang dari kedudukan yang seharusnya.

3.3.27**Gaya jacking**

Gaya sementara dalam beton prategang yang ditimbulkan oleh alat yang menimbulkan terjadinya tarik dalam baja prategang.

3.3.28**Hoop**

Pengikat tertutup atau pengikat yang dirajut secara menerus. Pengikat tertutup dapat dibuat sebagai elemen tulangan terdiri dari beberapa elemen tulangan yang masing-masing memiliki kait gempa pada kedua ujung. Pengikat yang menerus harus memiliki kait gempa pada kedua ujungnya. Lihat Pasal 7.

3.3.29**Joint**

Bagian dari struktur yang merupakan milik bersama komponen struktur yang saling berpotongan. Luas penampang efektif joint dari portal khusus, A_j , untuk penghitungan kekuatan geser yang didefinisikan dalam 7.7.4.1. Lihat Pasal 7.

3.3.30**Kolom**

Komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melebihi 3 yang digunakan terutama untuk menahan beban tekan aksial. Untuk komponen struktur mengecil, dimensi lateral terkecil merupakan rata-rata dari dimensi atas dan bawah dari sisi yang terkecil.

3.3.31**Pedestal**

Komponen struktur dengan rasio dimensi tinggi terhadap dimensi lateral terkecil kurang atau sama dengan 3 yang terutama digunakan untuk menahan beban aksial tekan. Untuk komponen struktur mengecil, dimensi lateral terkecil merupakan rata-rata dari dimensi atas dan bawah dari sisi yang terkecil.

3.3.32**Kait gempa**

Kait pada sengkang atau pengikat silang yang memiliki bengkokan yang tidak kurang dari 135° , kecuali bahwa hoop lingkaran harus memiliki bengkokan yang tidak kurang dari 90° . Kait harus memiliki perpanjangan $6d_b$ (tetapi tidak kurang dari 75 mm) yang diikatkan dengan tulangan longitudinal dan diteruskan ke dalam interior sengkang atau hoop. Lihat 7.1.4 ACI 318M-08 dan Pasal 7.

3.3.33**Kategori desain gempa**

Klasifikasi yang diterapkan pada struktur berdasarkan kategori penghuniannya dan tingkat keparahan gerak tanah gempa desain di lokasi, seperti diatur oleh peraturan bangunan yang berlaku.

3.3.34**Kekuatan desain**

Kekuatan nominal yang dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ

3.3.35**Kekuatan, nominal**

Kekuatan suatu komponen struktur atau penampang melintang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metode desain kekuatan menurut standar ini sebelum dikenakan faktor reduksi kekuatan.

3.3.36**Kekuatan, perlu**

Kekuatan perlu komponen struktur atau penampang melintang untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya-gaya dalam yang berkaitan pada kombinasi seperti yang ditetapkan standar ini.

3.3.37**Kekuatan tarik belah f_{ct}**

Kekuatan tarik beton yang ditentukan sesuai dengan ASTM C496M seperti tertera dalam ASTM C330. Lihat 5.1.4 ACI 318-08

3.3.38**Kekuatan leleh**

Kekuatan leleh minimum yang disyaratkan atau titik leleh dari tulangan. Kekuatan leleh atau titik leleh ditentukan dalam tarik sesuai standar ASTM yang berlaku seperti dimodifikasi dalam 3.5 ACI 318-08.

3.3.39**Kekuatan tekan beton yang disyaratkan f'_c**

Kekuatan tekan beton yang digunakan dalam desain dan dievaluasi sesuai peraturan dalam Pasal 5 ACI 318-08, dinyatakan dalam satuan megapascal (MPa). Bila nilai f'_c berada di dalam tanda akar, maka hanya nilai numerik dalam tanda akar saja yang dipakai, dan hasilnya tetap mempunyai satuan MPa.

3.3.40**Kepala geser (shear cap)**

proyeksi di bawah pelat yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser pelat. Lihat 13.2.6 ACI 318M-08.

3.3.41**Kombinasi beban desain**

kombinasi beban dan gaya terfaktor sesuai Pasal 9.2 ACI 318M-08.

3.3.42**Komponen lentur beton komposit**

Komponen lentur beton pracetak atau elemen beton dicor di tempat, atau keduanya, yang dibuat terpisah, namun saling dihubungkan sedemikian hingga semua elemen bereaksi terhadap beban sebagai suatu kesatuan.

3.3.43**Modulus elastisitas**

Rasio tegangan normal terhadap regangan yang berkaitan untuk tegangan tarik atau tekan di bawah batas proporsional material.

3.3.44**Panjang penanaman**

Panjang tulangan yang tertanam yang disediakan di luar penampang kritis.

3.3.45**Panjang penyaluran**

Panjang tulangan yang tertanam, termasuk strand pratarik, yang diperlukan untuk mengembangkan kekuatan desain tulangan pada penampang kritis.

3.3.46

Panjang transfer -Panjang strand pratarik tertanam yang diperlukan untuk menyalurkan prategang efektif ke beton.

3.3.47**Pasca-tarik**

Metoda pemberian prategang dimana baja prategang ditarik sesudah beton mengeras.

3.3.48**Pekerjaan**

Pelaksanaan keseluruhan konstruksi atau bagian yang diidentifikasi secara terpisah, yang harus dilakukan sesuai dengan dokumen kontrak.

3.3.49**Penampang yang dikendalikan tarik**

Penampang melintang di mana regangan tarik netto dalam badan tarik ekstrim pada kekuatan nominal lebih besar dari atau sama dengan 0,005.

3.3.50**Pengikat silang**

Batang tulangan menerus yang memiliki kait seismik pada salah satu ujung dan kait yang tidak kurang dari 90° dan setidaknya diperpanjang 6 kali diameter pada ujung lainnya. Kait harus dihubungkan dengan batang tulangan longitudinal melingkar. Kait 90° dari 2 kait silang yang berdekatan yang dihubungkan dengan batang longitudinal yang sama harus diputus selang-seling.

3.3.51**Penyangga**

Komponen tumpuan vertikal atau yang dimiringkan yang didesain untuk menahan cetakan, beton dan beban-beban konstruksi di atasnya.

3.3.52**Penyangga-kembali**

Penyangga yang ditempatkan di bawah pelat beton atau komponen struktur lainnya setelah bekisting dan penyangga awal dipindahkan dari lokasi yang lebih luas, dengan demikian disyaratkan komponen pelat atau struktural yang baru melendut dan menyangga berat sendiri dan beban konstruksi yang ada, yang diterapkan sebelum pemasangan penyangga-kembali.

3.3.53**Desainer profesional bersertifikat**

Seseorang yang bersertifikat untuk berpraktek sebagai desainer struktur yang sesuai dengan persyaratan hukum yang berlaku.

3.3.54**Perangkat angkur**

Peralatan yang digunakan pada sistem prategang pasca-tarik untuk menyalurkan gaya pasca-tarik dari baja prategang ke beton.

3.3.55**Perangkat angkur strand tunggal dasar**

Perangkat angkur yang digunakan dengan masing-masing strand tunggal atau batang tunggal berdiameter 15 mm atau batang tulangan berdiameter lebih kecil yang memenuhi 6.21.1 dan persyaratan perangkat angkur sesuai ACI 423.7.

3.3.56**Perangkat angkur strand majemuk dasar**

Perangkat angkur yang digunakan dengan strand majemuk, batang tulangan atau kawat atau batang tunggal berdiameter lebih besar dari 15 mm, yang memenuhi 6.21.1 dan persyaratan tegangan tumpuan dan kekakuan pelat minimum *AASHTO Bridge Specification, Division 1, Articles 9.21.7.2.2 sampai 9.21.7.2.4*.

3.3.57**Perpindahan desain**

Perpindahan lateral total yang diharapkan untuk desain dasar gempa, seperti disyaratkan oleh peraturan bangunan gedung yang sah berlaku untuk desain ketahanan gempa. Lihat pasal 6.

3.3.58**Pratarik**

Pemberian gaya prategang dengan menarik baja prategang sebelum beton dicor.

3.3.59**Prategang efektif**

Tegangan yang masih bekerja dalam baja prategang setelah semua kehilangan tegangan terjadi.

3.3.60**Rangka batang sendi struktural**

Rakitan komponen struktur beton bertulang yang fungsi utamanya menahan gaya aksial.

3.3.61**Portal**

Portal di mana komponen dan joint menahan gaya-gaya melalui lentur, geser dan gaya aksial. Portal yang ditunjuk sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa, harus di golongankan sebagai berikut :

3.3.61.1**Portal biasa**

Portal beton yang dicor di tempat atau portal beton pracetak yang memenuhi persyaratan Pasal 4 sampai Pasal 6 (Pasal 1 ACI 318-08 sampai 18 ACI 318-08), dan dalam hal portal biasa yang didesain untuk desain gempa Kategori B, juga memenuhi Pasal 7.2 (Pasal 21.2 ACI 318-08).

3.3.61.2**Portal menengah**

Portal beton yang dicor di tempat atau portal beton pracetak yang memenuhi persyaratan Pasal 7.3 selain persyaratan yang berlaku untuk portal biasa.

3.3.61.3**Portal khusus**

Portal beton yang dicor di tempat atau portal beton pracetak yang memenuhi persyaratan Pasal 7.1.3 sampai Pasal 7.1.7, Pasal 7.5 sampai Pasal 7.7 atau portal pracetak yang memenuhi persyaratan 7.1.3 sampai 7.1.7 dan 7.5 sampai 7.8. Sebagai tambahan, persyaratan portal biasa harus dipenuhi.

3.3.62**Sambungan**

Daerah yang menghubungkan dua komponen atau lebih. Dalam Pasal 7, sambungan juga mengacu pada daerah yang menghubungkan komponen-komponen struktur yang satu atau lebih merupakan komponen beton pracetak, di mana definisi spesifik berikut diterapkan:

3.3.62.1**Sambungan daktil**

Sambungan yang mengalami leleh akibat perpindahan desain gempa

3.3.62.1

Sambungan kuat – Sambungan yang tetap elastis sementara komponen struktur yang digabungkannya mengalami pelelehan akibat perpindahan desain gempa.

3.3.63**Selimut beton yang disyaratkan**

Jarak antara muka luar tulangan yang tertanam dan muka beton terluar yang terdekat yang ditunjukkan dalam gambar desain atau spesifikasi proyek.

3.3.64**Sengkang**

Tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan torsi dalam suatu komponen struktural, umumnya terbuat dari batang tulangan, kawat baja atau jejaring kawat baja las, berkaki tunggal atau yang dibengkokkan dalam bentuk L , U atau persegi dan dipasang tegak lurus atau membentuk sudut terhadap tulangan longitudinal. (Istilah “sengkang” biasanya diterapkan pada komponen struktur lentur dan istilah “pengikat” digunakan pada komponen struktur tekan).

3.3.65**Sistem penahan gaya gempa**

Bagian dari struktur yang dirancang untuk menahan gaya gempa rencana yang disyaratkan oleh peraturan yang berlaku dengan menggunakan ketentuan dan kombinasi beban yang berlaku.

3.3.66**Penebalan panel**

Proyeksi di bawah pelat yang digunakan untuk mengurangi jumlah tulangan negatif pada kolom atau ketebalan minimum pelat yang disyaratkan, dan meningkatkan kekuatan geser. Lihat 6.8.2.2 (Pasal 13.2.5 ACI 318-08) dan Pasal 13.3.7 ACI 318-08.

3.3.67**Pengikat**

Batang tulangan tertutup atau kawat yang melingkupi tulangan longitudinal. Batang atau kawat yang mengikat secara menerus dalam bentuk lingkaran, persegi atau bentuk poligon lainnya tanpa sudut patahan dapat digunakan. Juga lihat sengkang.

3.3.68**Rasio simpangan tingkat desain**

Perbedaan relatif perpindahan desain tingkat atas dan tingkat bawah dibagi dengan tinggi tingkat. Lihat Pasal 7.

3.3.69**Selongsong**

Saluran (rata atau bergelombang) untuk mengakomodasi baja prategang atau untuk instalasi pasca-tarik. Persyaratan selongsong pasca-tarik tertera dalam Pasal 6.17.

3.3.70**Sistem penahan gaya lateral**

Bagian struktur yang terdiri dari komponen struktur yang diproporsikan untuk menahan gaya yang berhubungan dengan pengaruh gempa.

3.3.71**Tegangan**

Intensitas gaya per satuan luas.

3.3.72**Tendon**

Dalam terapan pratarik, tendon merupakan baja prategang. Dalam terapan pasca-tarik, tendon merupakan rakitan lengkap yang terdiri dari angkur, baja prategang dan selongsong dengan olesan dalam prategang tanpa lekatan atau selongsong dengan grout.

3.3.73**Tendon dengan lekatan**

Tendon dalam mana baja prategang direkatkan ke beton baik secara langsung ataupun dengan cara grouting.

3.3.74**Tendon tanpa lekatan**

Tendon dalam mana baja prategang dicegah melekat pada beton dan bebas bergerak relatif terhadap beton. Gaya prategang secara permanen disalurkan terhadap beton pada ujung-ujung tendon hanya melalui pengangkuran.

3.3.75**Tinggi efektif penampang (d)**

Jarak yang diukur dari serat tekan terluar hingga titik berat tulangan tarik.

3.3.76**Transfer**

Proses penyaluran tegangan dalam baja prategang dari jack atau perangkatpratarik kepada komponen struktur beton.

3.3.77**Tulangan**

Batang baja berbentuk polos atau berbentuk ulir atau berbentuk pipa yang berfungsi untuk menahan gaya tarik pada komponen struktur beton, tidak termasuk tendon prategang, kecuali bila secara khusus diikuti sertakan.

3.3.77.1**Tulangan kawat di las**

Elemen tulangan yang terdiri dari kawat baja karbon polos atau ulir, masing-masing sesuai dengan ASTM A82 atau A496, masing-masing difabrikasi sebagai lembaran atau gulungan sesuai ASTM A185 atau A497M; atau elemen tulangan terdiri dari kawat baja tahan karat polos atau ulir yang difabrikasi dalam bentuk lembaran atau gulungan sesuai dengan ASTM A1022.

3.3.77.2**Tulangan paku geser berkepala**

Tulangan yang terdiri dari paku geser berkepala individual, atau group atau kelompok paku geser, dengan pengangkuran yang disediakan oleh kepala pada masing-masing atau oleh rel datar bersama yang terdiri dari pelat baja atau profil baja.

3.3.77.3**Tulangan polos**

Batang baja yang permukaan sisi luarnya rata, tidak bersirip dan tidak berulir.

3.3.77.4**Tulangan ulir**

Batang baja yang permukaan sisi luarnya tidak rata, tetapi bersirip atau berulir.

3.3.77.5**Tulangan spiral**

Tulangan yang dililitkan secara menerus membentuk suatu ulir lingkaran silindris.

3.3.78

Zona angkur

Bagian komponen prategang pasca-tarik di mana gaya prategang terpusat disalurkan ke beton dan disebarakan secara lebih merata ke seluruh bagian penampang. Panjang daerah zona angkur ini adalah sama dengan dimensi terbesar penampang. Untuk perangkat angkur tengah, zona angkur mencakup daerah terganggu di depan dan di belakang perangkat angkur tersebut.

3.3.79

Zona tarik pratekan

Bagian dari komponen prategang dimana tarik lentur yang dihitung berdasarkan sifat penampang lentur akan terjadi akibat beban mati dan hidup tidak terfaktor jika gaya prategang belum bekerja.

4 Beton pracetak

4.1 Ruang lingkup

Semua persyaratan dari standar ini (termasuk persyaratan dari ACI 318-08) yang tidak secara khusus dikecualikan dan tidak bertentangan dengan persyaratan beton pracetak, berlaku untuk komponen struktur beton pracetak.

4.2 Umum

4.2.1 Desain komponen struktur beton pracetak dan sambungan-sambungan harus mencakup kondisi pembebanan dan kekangan dari saat pabrikasi awal sampai akhir penggunaan pada struktur, termasuk pembongkaran cetakan, penyimpanan, pengangkutan dan ereksi.

4.2.2 Apabila komponen struktur pracetak dihubungkan ke dalam sistem struktural, maka gaya dan deformasi yang terjadi dalam dan berdekatan dengan sambungan harus diperhitungkan dalam desain.

4.2.3 Toleransi untuk komponen struktur pracetak dan komponen struktur penghubung harus ditetapkan. Desain komponen struktur pracetak dan sambungan-sambungan harus mencakup efek toleransi tersebut.

4.2.4 Selain persyaratan untuk gambar dan spesifikasi dalam Pasal 1.2, persyaratan (a) dan (b) harus dicakup dalam dokumen kontrak atau gambar kerja:

- (a) Detail tulangan, sisipan, dan perangkat pengangkatan yang diperlukan untuk menahan beban sementara dari penanganan, penyimpanan, pengangkutan, dan ereksi;
- (b) Kekuatan beton perlu pada umur yang ditetapkan, atau pada tahapan-tahapan pelaksanaan konstruksi.

4.3 Distribusi gayadi antara komponen struktur

4.3.1 Distribusi gaya yang tegak lurus bidang komponen struktur harus ditetapkan dengan analisis atau dengan pengujian.

4.3.2 Apabila perilaku sistem mensyaratkan gaya-gaya di dalam bidang disalurkan antara komponen-komponen struktur dari sistem lantai pracetak atau sistem dinding, 4.3.2.1 dan 4.3.2.2 harus diterapkan.

4.3.2.1 Alur gaya dalam bidang harus menerus melalui sambungan dan komponen struktur.

4.3.2.2 Apabila terjadi gaya tarik, alur menerus dari baja atau tulangan baja harus disediakan.

4.4 Desain komponen struktur

4.4.1 Pada lantai pracetak dan pelat atap satu arah dan pada pracetak satu arah, panel dinding prategang satu arah yang semuanya tidak lebih lebar dari 3,7 m, dan di mana komponen struktur tidak disambung secara mekanis yang menyebabkan kekangan dalam arah transversal, persyaratan tulangan susut dan temperatur dari 7.12 ACI 318-08 dalam arah tegak lurus tulangan lentur boleh diabaikan. Pengabaian ini tidak berlaku untuk komponen struktur yang memerlukan tulangan untuk menahan tegangan lentur transversal.

4.4.2 Untuk dinding pracetak, dinding non-prategang, tulangan harus didesain sesuai dengan persyaratan Bab 10 ACI 318-08 atau Pasal 8, kecuali bahwa luas masing-masing tulangan horisontal dan vertikal tidak boleh kurang dari $0,001 A_g$, di mana A_g adalah luas penampang melintang bruto panel dinding. Spasi tulangan tidak boleh melebihi 5 kali tebal dinding ataupun 750 mm untuk dinding interior ataupun 450 mm untuk dinding eksterior.

4.5 Integritas struktural

4.5.1 Kecuali apabila persyaratan dari 4.5.2 berlaku, maka persyaratan minimum 4.5.1.1 sampai 4.5.1.4 untuk integritas struktural harus diterapkan pada semua struktur beton pracetak.

4.5.1.1 Sengkang pengikat longitudinal dan transversal yang disyaratkan oleh 4.5.1.1.1 harus menghubungkan komponen struktur kepada suatu sistem penahan beban lateral.

4.5.1.1.1 Untuk konstruksi beton pracetak, sengkang pengikat tarik harus disediakan pada arah transversal, longitudinal dan vertikal dan sekeliling perimeter struktur untuk mengikat elemen struktur secara efektif. Ketentuan 4.5 harus diterapkan.

4.5.1.2 Apabila elemen pracetak membentuk diafragma lantai atau atap, maka sambungan antara diafragma dan komponen struktur yang didukung secara lateral harus mempunyai kekuatan tarik nominal yang mampu menahan tidak kurang dari 4,4 kN per meter linier.

4.5.1.3 Persyaratan sengkang pengikat tarik vertikal dari 4.5.1.1.1 harus diterapkan pada semua komponen struktural vertikal, kecuali kulit bangunan gedung (*cladding*), dan harus dicapai dengan penyediaan sambungan pada joint horisontal sesuai dengan (a) sampai (c):

- (a) Kolom pracetak harus memiliki kekuatan nominal tarik tidak kurang dari $1,4 A_g$, dalam lb. Untuk kolom dengan penampang melintang yang lebih besar dari yang diperlukan berdasarkan pertimbangan pembebanan, boleh menggunakan luas efektif tereduksi A_g , berdasarkan penampang melintang yang diperlukan tetapi tidak kurang dari setengah luas total;
- (b) Panel dinding pracetak harus memiliki minimum dua sengkang pengikat per panel, dengan kekuatan tarik nominal tidak kurang dari 44 kN per sengkang pengikat;
- (c) Apabila gaya-gaya desain tidak menimbulkan tarik di dasar struktur, maka sengkang pengikat yang diperlukan 4.5.1.3 (b) boleh diangkurkan ke dalam pelat lantai beton bertulang di atas tanah yang tersedia.

4.5.1.4 Detail sambungan yang hanya mengandalkan friksi yang disebabkan oleh beban gravitasi, tidak boleh digunakan.

4.5.2 Untuk struktur dinding penumpu beton pracetak yang tingginya tiga tingkat atau lebih, berlaku ketentuan minimum dari 4.5.2.1 sampai 4.5.2.5.

4.5.2.1 Sengkang pengikat longitudinal dan transversal harus dipasang pada sistem lantai dan atap sedemikian hingga menghasilkan kekuatan nominal 22 kN per meter lebar atau panjang. Sengkang pengikat harus dipasang di atas tumpuan dinding dalam dan di antara komponen struktur dan dinding luar. Sengkang pengikat harus diletakkan pada atau di dalam jarak 600mm dari bidang sistem lantai atau atap.

4.5.2.2 Sengkang pengikat longitudinal yang sejajar dengan bentang pelat lantai atau atap harus berjarak tidak lebih dari 3 m. Pengaturan harus dilakukan untuk menyalurkan gaya-gaya di sekitar bukaan.

4.5.2.3 Sengkang pengikat transversal yang tegak lurus bentang pelat lantai atau atap harus berjarak tidak lebih besar dari spasi dinding penumpu.

4.5.2.4 Sengkang pengikat di sekeliling perimeter setiap lantai dan atap, di dalam 1,2 m dari tepi, harus memberikan kekuatan tarik nominal sedikitnya 71 kN.

4.5.2.5 Sengkang pengikat tarik vertikal harus dipasang di semua dinding dan harus menerus di seluruh tinggi bangunan gedung. Sengkang tersebut harus memberikan kekuatan tarik nominal tidak kurang dari 44 kN per meter horizontal dinding. Sedikitnya dua sengkang pengikat harus dipasang pada setiap panel pracetak.

4.6 Desain sambungan dan tumpuan

4.6.1 Gaya-gaya boleh disalurkan antara komponen struktur dengan joint yang digROUT, kunci geser, konektor mekanis, sambungan baja tulangan, topping bertulang, atau kombinasi dari cara-cara tersebut.

4.6.1.1 Kemampuan sambungan untuk menyalurkan gaya-gaya antara komponen struktur harus ditentukan dengan analisis atau dengan pengujian. Ketentuan 11.6 ACI 318-08 harus diterapkan, apabila geser merupakan pembebanan utama.

4.6.1.2 Bila desain sambungan menggunakan material dengan sifat struktural yang berbeda, maka kekakuan, kekuatan, dan daktilitas relatifnya harus diperhitungkan.

4.6.2 Tumpuan untuk komponen lantai dan atap pracetak di atas perletakan sederhana harus memenuhi 4.6.2.1 dan 4.6.2.2.

4.6.2.1 Tegangan tumpu ijin di permukaan kontak antara komponen yang didukung dan yang mendukung dan antara masing-masing elemen-elemen pendukung menengah tidak boleh melebihi kekuatan tumpu untuk permukaan dan elemen pendukung, atau keduanya. Kekuatan tumpu beton harus sesuai dengan 4.6.2.1.1.

4.6.2.1.1 Kekuatan tumpu desain beton tidak boleh melebihi $\phi(0,85 f'_c A_1)$, kecuali bila permukaan pendukung lebih lebar pada semua sisi dari luas yang dibebani, maka kekuatan tumpu desain dari luas yang dibebani diijinkan dikalikan dengan $\sqrt{A_2/A_1}$ tetapi tidak boleh melebihi 2.

4.6.2.1.2 Pasal 4.6.2.1.1 tidak berlaku bagi angkur pasca-tarik.

4.6.2.2 Kecuali bila dapat dibuktikan melalui pengujian atau analisis bahwa kinerja sambungan dan tumpuan tidak berkurang, (a) dan (b) harus dipenuhi:

- (a) Setiap komponen struktur dan sistem pendukungnya harus mempunyai dimensi desain yang dipilih sedemikian hingga setelah memperhitungkan toleransi, jarak dari tepi tumpuan ke ujung komponen struktur pracetak pada arah bentang sedikitnya $\ell_n/180$, tetapi tidak boleh kurang dari:

Untuk pelat masif atau berongga 50 mm
 Untuk balok atau komponen struktur tertahan 75 mm

- (b) Pelat tumpuan pada tepi yang tidak dilapisi baja harus mempunyai *set back* minimum 13 mm dari muka penumpu, atau paling sedikit sebesar dimensi penumpulan (*chamfer*) pada tepi yang ditumpulkan.

4.6.2.3 Persyaratan 4.6.2.3.1 tidak berlaku untuk tulangan momen lentur positif pada komponen struktur pracetak statis tertentu, tetapi paling sedikit sebesar sepertiga dari tulangan tersebut harus diteruskan sampai ke tengah panjang tumpuan, dengan memperhitungkan toleransi yang diijinkan dalam 4.6.2.3.2 dan 4.2.3.

4.6.2.3.1 Sekurang-kurangnya sepertiga tulangan momen positif komponen struktur sederhana dan seperempat tulangan momen positif pada komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama masuk kedalam pendukung. Pada balok, tulangan semacam itu harus diteruskan masuk kedalam pendukung sekurang-kurangnya 150 mm.

4.6.2.3.2 Toleransi untuk penempatan pembengkokan longitudinal dan ujung tulangan harus diambil sebesar ± 50 mm, kecuali toleransi untuk ujung-ujung yang tidak menerus dari konsol pendek dan konsol diambil sebesar ± 13 mm, dan untuk ujung-ujung komponen struktur lainnya yang tidak menerus diambil sebesar ± 25 mm. Toleransi untuk selimut beton dari 4.6.2.3.3 juga berlaku pada ujung-ujung komponen struktur yang tidak menerus.

4.6.2.3.3 Toleransi untuk d dan untuk selimut beton pada komponen struktur lentur, dinding, dan komponen struktur tekan harus sesuai Tabel 1.

Tabel 1 -Toleransi pada d dan selimut beton

	Toleransi pada d	Toleransi pada selimut beton yang disyaratkan
$d \leq 200$ mm	± 10 mm	- 10 mm
$d > 200$ mm	± 13 mm	- 13 mm

kecuali bahwa toleransi untuk jarak bersih untuk membentuk *soffit* harus dikurangi sebesar 6 mm. Sebagai tambahan, toleransi untuk selimut juga tidak boleh melebihi minus 1/3 selimut beton yang disyaratkan dalam gambar desain dan spesifikasi proyek.

4.7 Benda-benda tertanam sesudah pengecoran beton

4.7.1 Apabila disetujui oleh desainer yang bersertifikat, benda-benda tertanam (seperti pasak atau sisipan lainnya) yang menonjol keluar dari beton atau tetap terekspos untuk tujuan pemeriksaan boleh ditanam pada saat beton berada dalam kondisi plastis asalkan 4.7.1.1, 4.7.1.2, dan 4.7.1.3 dipenuhi.

4.7.1.1 Benda-benda tertanam tidak disyaratkan untuk dikaitkan atau diikatkan ke tulangan di dalam beton.

4.7.1.2 Benda-benda tertanam dipertahankan tetap berada pada posisi yang benar selama beton masih plastis.

4.7.1.3 Beton di sekeliling benda yang tertanam harus dipadatkan secara benar.

4.8 Penandaan dan identifikasi

4.8.1 Setiap komponen struktur pracetak harus ditandai untuk menunjukkan lokasinya dan orientasinya dalam struktur serta tanggal pabrikasinya.

4.8.2 Tanda identifikasi harus sesuai dengan yang ada dalam gambar desain.

4.9 Penanganan

4.9.1 Desain komponen struktur harus memperhitungkan gaya dan distorsi selama perawatan, pembongkaran cetakan, penyimpanan, pengangkutan, dan ereksi sedemikian hingga komponen struktur pracetak tersebut tidak mengalami tegangan yang berlebihan atau dinyatakan rusak.

4.9.2 Selama ereksi, komponen struktur pracetak dan struktur harus ditumpu dan diperkaku secukupnya untuk menjamin kelurusan (*alignment*) yang tepat dan integritas struktur hingga sambungan permanen selesai dipasang.

4.10 Evaluasi kekuatan konstruksi pracetak

4.10.1 Elemen pracetak yang akan dibuat komposit dengan beton cor di tempat harus diijinkan diuji dalam lentur seperti elemen pracetak saja sesuai dengan 4.10.1.1 dan 4.10.1.2.

4.10.1.1 Beban ujhanya berlaku bilamana perhitungan menunjukkan bahwa elemen pracetak terisolasi tidak akan kritis dalam tekan atau tekuk.

4.10.1.2 Beban uji harus berupa beban yang apabila diterapkan atas komponen pracetak saja, menghasilkan gaya total yang sama di tulangan tarik, sebagaimana yang ditimbulkan oleh pembebanan pada komponen struktur komposit dengan beban uji yang disyaratkan oleh 4.10.1.2.1.

4.10.1.2.1 Intensitas beban

Beban uji total (termasuk beban mati yang sudah bekerja) tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari (a), (b) dan (c) berikut:

(a) $1,15D + 1,5L + 0,4(L, \text{atau } R)$

(b) $1,15D + 0,9L + 1,5(L, \text{atau } R)$

(c) $1,3D$

Faktor beban pada beban hidup L dalam 4.10.1.2.1 (b) boleh direduksi sampai dengan 0,45 kecuali untuk garasi, area yang dihuni sebagai tempat pertemuan umum, dan seluruh area di mana L lebih besar dari $4,8 \text{ kN/m}^2$. L boleh direduksi sesuai dengan ketentuan peraturan bangunan gedung umum yang berlaku.

4.10.2 Ketentuan 4.10.2.1 harus merupakan dasar penerimaan atau penolakan dari elemen pracetak.

4.10.2.1 Kriteria penerimaan

4.10.2.1.1 Bagian struktur yang diuji tidak boleh memperlihatkan tanda-tanda kegagalan. Pecahan dan kehancuran dari beton yang tertekan harus dipandang sebagai indikasi kegagalan.

4.10.2.1.2 Lendutan yang diukur harus memenuhi salah satu dari Persamaan (1) dan Persamaan (2) berikut ini:

$$\Delta_1 \leq \frac{\ell_t^2}{20\,000h} \quad (1)$$

$$\Delta_r \leq \frac{\Delta_1}{4} \quad (2)$$

Uji beban boleh diulang bila lendutan maksimum Δ_1 dan lendutan residu Δ_r yang diukur tidak memenuhi Persamaan (1) atau Persamaan (2).

Uji ulang harus dilakukan tidak lebih awal dari 72 jam setelah beban uji pertama dihilangkan. Bagian struktur yang diuji dalam uji ulang harus dianggap memenuhi persyaratan jika pemulihan lendutan Δ_r memenuhi kondisi berikut ini:

$$\Delta_r \leq \frac{\Delta_2}{5} \quad (3)$$

di mana Δ_2 adalah lendutan maksimum yang diukur selama pengujian kedua relatif terhadap posisi struktur pada awal pengujian kedua.

4.10.2.1.3 Komponen struktural yang diuji tidak boleh memiliki retak yang mengindikasikan kesegeraan terjadinya kegagalan geser.

4.10.2.1.4 Pada daerah komponen struktural yang tidak memiliki tulangan transversal, munculnya retak struktural yang membentuk sudut terhadap sumbu longitudinal dan memiliki proyeksi horisontal lebih panjang dari tinggi komponen struktur pada titik-tengah retak harus dievaluasi.

4.10.2.1.5 Pada daerah pengangkuran dan sambungan lewatan, munculnya serangkaian retak miring pendek atau retak horisontal sepanjang jalur tulangan harus dievaluasi.

5 Komponen struktur lentur beton komposit

5.1 Ruang lingkup

5.1.1 Persyaratan pasal ini berlaku untuk desain komponen struktur lentur beton komposit yang didefinisikan sebagai elemen beton pracetak, elemen beton cor di tempat, atau keduanya, yang dibangun dalam penempatan terpisah tetapi setelah saling dihubungkan, semua elemen bereaksi terhadap beban sebagai satu kesatuan.

5.1.2 Semua persyaratan ACI 318-08 berlaku untuk komponen struktur lentur beton komposit, kecuali apabila secara khusus dimodifikasi dalam pasal ini.

5.2 Umum

5.2.1 Komponen struktur yang seluruh atau sebagiannya terbuat dari komposit boleh digunakan untuk menahan geser dan momen.

5.2.2 Masing-masing elemen harus diperiksa terhadap semua tahapan kritis pembebanan.

5.2.3 Jika kekuatan yang disyaratkan, berat satuan, atau sifat lain dari berbagai elemen berbeda, maka sifat masing masing elemen atau nilai-nilai yang paling kritis harus digunakan dalam desain.

5.2.4 Dalam perhitungan kekuatan komponen struktur komposit, tidak ada perbedaan yang harus dibuat antara komponen struktur yang ditopang dan yang tidak ditopang.

5.2.5 Semua elemen harus didesain untuk menahan semua beban yang bekerja sebelum pengembangan penuh kekuatan desain komponen struktur komposit tercapai.

5.2.6 Tulangan harus disediakan sesuai dengan yang diperlukan untuk mengendalikan retak dan untuk mencegah pemisahan dari masing-masing elemen dari komponen struktur komposit.

5.2.7 Komponen struktur komposit harus memenuhi persyaratan untuk mengendalikan lendutan sesuai dengan 5.2.7.1.

5.2.7.1 Konstruksi komposit

5.2.7.1.1 Konstruksi yang ditopang

Jika komponen struktur lentur komposit ditopang selama konstruksi, sehingga setelah pelepasan penumpu sementara, beban mati ditahan oleh penampang komposit penuh, maka diperkenankan untuk menggunakan komponen struktur komposit yang ekuivalen dengan komponen struktur monolit untuk perhitungan lendutan. Untuk komponen struktur non-prategang, bagian komponen struktur tekan akan menentukan apakah nilai-nilai dalam Tabel 2 berlaku untuk beton normal atau beton ringan. Jika lendutan dihitung, harus diperhitungkan lengkungan akibat perbedaan susut dari komponen pracetak dan komponen cor di tempat, dan akibat dari pengaruh rangkai aksial pada komponen struktur beton prategang.

Tabel 2 -Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak mendukung atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu arah	$\ell / 20$	$\ell / 24$	$\ell / 28$	$\ell / 10$
Balok atau pelat berusuk satu- arah	$\ell / 16$	$\ell / 18,5$	$\ell / 21$	$\ell / 8$

CATATAN:

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu **420**. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut.

a) Untuk struktur beton ringan dengan densitas w_c antara **1 440** kg/m³ dan **1 840** kg/m³, nilai harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$, tapi tidak kurang dari 1,09.

b) Untuk f_y selain **420 MPa**, nilai harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

Tabel 3 - Lendutan maksimum terhitung yang diijinkan

Jenis komponen struktur	Lendutan terhitung	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar.	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\ell / 180^*$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar.	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\ell / 360$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen non-struktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) [†]	$\ell / 480^\ddagger$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar		$\ell / 240^\S$

* Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemudian penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut, toleransi konstruksi dan keandalan sistem drainase.

[†] Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 5.2.7.1.4 atau ketentuan 5.2.7.1.5 tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan elemen non-struktural. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.

[‡] Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap elemen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan.

[§] Batas tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktural. Batas ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.

5.2.7.1.2 Konstruksi tidak ditopang

Jika ketebalan komponen lentur pracetak non-prategang memenuhi persyaratan Tabel 2, lendutan tidak perlu dihitung. Jika ketebalan dari komponen struktur komposit non-prategang memenuhi persyaratan Tabel 2, tidak diperlukan menghitung lendutan yang terjadi setelah komponen struktur menjadi komposit, tetapi lendutan jangka panjang dari komponen struktur pracetak harus diperiksa terhadap besar dan jangka waktu pembebanan sebelum aksi komposit efektif terjadi.

5.2.7.1.3 Lendutan yang dihitung sesuai dengan 5.2.7.1.1 atau 5.2.7.1.2 tidak boleh melebihi batas yang ditetapkan dalam Tabel 3.

5.2.7.1.4 Kecuali nilai yang diperoleh dengan analisis komprehensif dengan cara yang lebih detail dan teliti, maka penambahan lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut dari komponen struktur lentur (untuk beton normal ataupun beton ringan) harus dihitung dengan mengalikan lendutan seketika, akibat beban tetap yang ditinjau, dengan faktor λ_Δ :

$$\lambda_\Delta = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (4)$$

dengan ρ' adalah nilai pada tengah bentang untuk balok sederhana dan balok menerus, dan nilai pada tumpuan untuk balok kantilever. Faktor konstanta ketergantungan waktu ξ untuk beban tetap harus diambil sebesar:

5 tahun atau lebih	2,0
12 bulan	1,4
6 bulan	1,2
3 bulan	1,0

5.2.7.1.5 Lendutan jangka panjang tambahan komponen struktur beton prategang harus dihitung dengan memperhatikan pengaruh tegangan pada beton dan baja akibat beban tetap, dan harus mencakup pengaruh rangkai dan susut beton serta relaksasi baja.

5.3 Penopangan

Bila digunakan, penopang tidak boleh dibongkar hingga elemen yang ditopang telah mencapai sifat desain yang diperlukan untuk memikul semua beban dan membatasi lendutan dan keretakan pada saat pembongkaran sistem penopang.

5.4 Kekuatan geser vertikal

5.4.1 Bila keseluruhan komponen struktur komposit diasumsikan menahan geser vertikal, maka desain harus sesuai dengan persyaratan Pasal 11 ACI 318-08 sebagaimana yang berlaku untuk komponen struktur dengan penampang yang sama, yang dicor secara monolit.

5.4.2 Tulangan geser harus dijangkarkan sepenuhnya ke dalam elemen yang saling berhubungan, sesuai dengan Pasal 12.13 ACI 318-08.

5.4.3 Tulangan geser yang diperpanjang dan terangkur dengan baik boleh diperhitungkan sebagai sengkang pengikat untuk geser horisontal.

5.5 Kekuatan geser horisontal

5.5.1 Pada komponen struktur komposit, harus dapat dijamin transfer penuh gaya geser horisontal secara penuh pada permukaan kontak dari elemen-elemen yang dihubungkan.

5.5.2 Untuk ketentuan 5.5, d diambil sebagai jarak dari serat tekan terluar untuk penampang komposit keseluruhan ke titik berat tulangan tarik longitudinal prategang dan non-prategang, tetapi tidak perlu diambil lebih kecil dari $0,80h$ untuk komponen struktur beton prategang.

5.5.3 Kecuali dihitung menurut 5.5.4, maka desain penampang melintang yang menahan geser horisontal harus didasarkan pada

$$V_u \leq \phi V_{nh} \quad (5)$$

di mana V_{nh} adalah kekuatan geser horisontal nominal menurut 5.5.3.1 hingga 5.5.3.4.

5.5.3.1 Bila permukaan kontak bersih, bebas dari serpihan, dan secara sengaja dikasarkan, maka V_{nh} tidak boleh diambil lebih besar dari $0,55b_v d$.

5.5.3.2 Bila dipasang sengkang pengikat minimum menurut 5.6, dan permukaan kontak bersih serta bebas dari serpihan, tetapi tidak dikasarkan, maka V_{nh} tidak boleh diambil lebih besar dari $0,55b_v d$.

5.5.3.3 Bila dipasang sengkang pengikat menurut 5.6, dan permukaan kontak bersih, bebas dari serpihan, dan dengan sengaja dikasarkan hingga mencapai tingkat amplitudo kekasaran penuh kira-kira 6 mm, maka V_{nh} harus diambil sama dengan $(1,8 + 0,6 \rho_v f_y) \lambda b_v d$, tetapi tidak lebih besar dari $3,5 b_v d$. Nilai untuk λ dalam 5.5.3.4.1.3 harus diterapkan dan ρ_v adalah $A_v / (b_v s)$.

5.5.3.4 Apabila gaya geser terfaktor V_u pada penampang yang ditinjau melebihi $\phi(3,5 b_v d)$, maka desain untuk geser horisontal harus menurut 5.5.3.4.1.

5.5.3.4.1 Metode desain friksi geser

5.5.3.4.1.1 Bila tulangan friksi geser tegak lurus bidang geser, V_n harus dihitung dengan

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \quad (6)$$

di mana μ adalah koefisien friksi sesuai dengan 5.5.3.4.1.3.

5.5.3.4.1.2 Bila tulangan friksi geser dimiringkan terhadap bidang geser, maka gaya geser hasil tarik dalam tulangan friksi geser, V_n harus dihitung dengan

$$V_n = A_{vf} f_y (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \quad (7)$$

dimana α adalah sudut antara tulangan friksi geser dan bidang geser.

5.5.3.4.1.3 Koefisien friksi μ dalam Persamaan (6) dan Persamaan (7) harus diambil sebagai:

Beton yang dicor monolit	1,4 λ
Beton yang dicor diatas beton yang sudah mengeras dengan permukaan yang sengaja dikasarkan seperti disyaratkan 5.5.3.4.2	1,0 λ
Beton yang dicor diatas beton yang sudah mengeras dan permukaan yang tidak dikasarkan	0,6 λ
Beton yang diangkur kepada baja struktural dengan baut berkepala atau batang tulangan 5.5.3.4.3	0,7 λ

dimana $\lambda = 1,0$ untuk beton normal dan 0,75 untuk seluruh beton ringan. Selain itu, λ harus ditentukan berdasarkan proporsi volume dari agregat ringan dan agregat berat normal seperti yang ditetapkan dalam 5.5.3.4.1.4, tetapi tidak melebihi 0,85.

5.5.3.4.1.4 Untuk memperhitungkan penggunaan beton ringan, kecuali secara khusus dinyatakan sebaliknya, faktor modifikasi λ muncul sebagai pengali $\sqrt{f'_c}$ dalam semua persamaan yang sesuai dan pasal standar ini, di mana $\lambda = 0,85$ untuk beton ringan-pasir dan 0,75 untuk beton ringan-semua. Interpolasi linier antara 0,75 dan 0,85 harus diijinkan, berdasarkan fraksi volumetrik, bila bagian dari agregat halus berat-ringan diganti dengan agregat halus berat-normal. Interpolasi linear boleh diambil antara 0,85 dan 1,0, berdasarkan fraksi volumetrik, untuk beton yang terdiri dari agregat halus berat-normal dan campuran agregat kasar berat-ringan dan berat-normal. Untuk beton berat-normal, $\lambda = 1,0$. Jika

kekuatan tarik belah rata-rata dari beton berat-ringan, f_{ct} , adalah disyaratkan, $\lambda = f_{ct} / (0,56 \sqrt{f'_c}) \leq 1,0$.

5.5.3.4.2 Untuk memenuhi 11.6 ACI 318-08, bila beton dicorkan pada beton yang telah mengeras sebelumnya, bidang kontak untuk menyalurkan geser harus bersih dan bebas dari serpihan kotoran lepas (*laitance*). Jika μ diasumsikan sama dengan $1,0\lambda$, bidang kontak harus dikasarkan pada amplitudo penuh sekitar 6 mm.

5.5.3.4.3 Bila geser disalurkan antara baja gelas dan beton dengan menggunakan paku berkepala atau batang tulangan di las, baja harus bersih dan bebas dari cat.

5.5.4 Sebagai alternatif terhadap 5.5.3, geser horisontal boleh ditentukan dengan jalan menghitung perubahan aktual gaya tekan atau gaya tarik di dalam sebarang segmen, dan pengaturan harus dilakukan untuk menyalurkan gaya tersebut sebagai geser horisontal kepada elemen pendukung. Gaya geser horisontal terfaktor V_u tidak boleh melebihi kekuatan geser horisontal ϕV_{nh} seperti yang diberikan dalam 5.5.3.1 sampai 5.5.3.4, dimana luas permukaan kontak A_v harus digunakan sebagai pengganti $b_v d$.

5.5.4.1 Bila sengkang pengikat yang dipasang untuk menahan geser horisontal didesain memenuhi 5.5.4, maka rasio luas sengkang pengikat terhadap spasi sengkang pengikat di sepanjang komponen struktur harus merefleksikan distribusi gaya-gaya geser pada komponen struktur tersebut.

5.5.5 Bila terdapat tarik pada permukaan kontak antara elemen-elemen yang saling dihubungkan, maka penyaluran geser secara kontak hanya boleh digunakan bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 5.6.

5.6 Sengkang pengikat untuk geser horisontal

5.6.1 Bila sengkang pengikat dipasang untuk menyalurkan geser horisontal, maka luas sengkang pengikat tidak boleh kurang daripada luas yang diperlukan seperti dalam 5.6.1.1, dan spasi sengkang pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang didukung, ataupun 600 mm.

5.6.1.1 Jika tulangan geser disyaratkan 5.6.1.3 atau untuk kekuatan dan dimana torsi yang dapat diabaikan, $A_{v,min}$ untuk komponen struktur prategang (kecuali seperti diberikan dalam 5.6.1.2 dan komponen struktur non-prategang harus dihitung dengan

$$A_{v,min} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (8)$$

tetapi tidak kurang dari $0,35 b_w s / f_{yt}$

5.6.1.2 Untuk komponen struktur prategang dengan gaya pretegang efektif tidak kurang dari 40 % dari kekuatan tarik tulangan lentur, $A_{v,min}$ tidak boleh diambil kurang dari nilai terkecil dari Persamaan (8) dan (9).

$$A_{v,min} = \frac{A_{ps} f_{pu} s}{80 f_{yt} d} \sqrt{\frac{d}{b_w}} \quad (9)$$

5.6.1.3 Luas tulangan geser minimum, $A_{v,min}$, harus diberikan pada semua komponen struktur lentur beton bertulang (prategang dan non-prategang) di mana V_u melebihi $0,5\phi V_c$, kecuali pada komponen struktur yang memenuhi satu atau lebih dari (a) sampai (f):

- (a) Fondasi telapak dan pelat padat;
- (b) Unit inti-berongga dengan total kedalaman tanpa topping tidak lebih besar dari 315 mm dan unit inti-berongga di mana V_u tidak lebih besar dari $0,5\phi V_{cw}$;
- (c) Konstruksi beton berusuk yang didefinisikan 8.13 ACI 318-08;
- (d) Balok dengan h tidak lebih besar dari 250 mm;
- (e) Integral balok dengan pelat h tidak lebih besar dari 600 mm dan tidak lebih besar dari nilai terbesar antara 2,5 kali tebal sayap, dan 0,5 kali lebar badan;
- (f) Balok yang dibangun dari tulangan-serat baja, beton normal dengan f'_c yang tidak melebihi 40 MPa, h tidak lebih besar dari 600 mm, dan V_u tidak lebih besar dari $\phi 0,17\sqrt{f'_c}b_wd$

5.6.2 Senggang pengikat untuk geser horisontal harus terdiri dari batang-batang tulangan atau kawat tunggal, senggang berkaki banyak, atau kaki vertikal dari tulangan kawat dilas.

5.6.3 Semua senggang pengikat harus diangkurkan sepenuhnya ke dalam elemen-elemen yang saling dihubungkan sesuai dengan 12.13 ACI 318-08.

6 Beton prategang

6.1 Ruang lingkup

6.1.1 Ketentuan dalam Pasal 6 berlaku untuk komponen struktur prategang yang menggunakan kawat, *strand*, atau batang tulangan yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku untuk baja prategang dalam 6.1.1.1.

6.1.1.1 Baja prategang

6.1.1.1.1 Baja untuk prategang harus sesuai dengan salah satu dari spesifikasi berikut:

- (a) Kawat: ASTM A421M;
- (b) Kawat relaksasi rendah: ASTM A421M, termasuk Suplemen "Low Relaxation Wire";
- (c) Strand: ASTM A416M;
- (d) Batang tulangan kekuatan tinggi: ASTM A722M.

6.1.1.1.2 Kawat, strand, dan batang tulangan yang bukan secara khusus tercantum dalam ASTM A421M, A416M, atau A722M boleh digunakan asalkan memenuhi spesifikasi minimum dan tidak memiliki sifat yang membuat mereka kurang memuaskan dari yang tercantum dalam ASTM A421M, A416M, atau A722M.

6.1.2 Semua ketentuan dalam ACI 318-08 yang tidak secara khusus dikecualikan, dan tidak bertentangan dengan ketentuan Pasal 6, berlaku untuk beton prategang.

6.1.3 Ketentuan dalam peraturan ini tidak berlaku untuk beton prategang, kecuali seperti yang dinyatakan secara khusus: Pasal 6.4.4, 7.6.5, 8.12.2, 8.12.3, 8.12.4, 8.13, 10.5, 10.6, 10.9.1, dan 10.9.2 ACI 318-08; Bab 13 ACI 318-08; dan Pasal 8.3, 8.5, dan 8.6 kecuali beberapa dalam Pasal 10.6 ACI 318-08 berlaku sebagai mana dinyatakan 6.4.4.

6.2 Umum

6.2.1 Komponen struktur prategang harus memenuhi persyaratan kekuatan dalam peraturan ini.

6.2.2 Desain komponen struktur prategang harus didasarkan pada kekuatan dan perilaku komponen struktur pada kondisi layan untuk semua tahap pembebanan kritis selama umur struktur sejak saat pertama prategang diberikan.

6.2.3 Konsentrasi tegangan akibat prategang harus diperhitungkan dalam desain.

6.2.4 Ketentuan harus dibuat untuk pengaruh pada konstruksi bersebelahan akibat deformasi elastis dan plastis, lendutan, perubahan panjang dan rotasi akibat prategang. Pengaruh suhu dan susut juga harus ikut diperhitungkan.

6.2.5 Kemungkinan tekuk pada suatu komponen struktur di antara titik-titik dimana terjadi pertemuan selang-seling antara beton dan baja prategang dan selongsong berukuran lebih, dan tekuk pada bagian badan dan sayap penampang tipis, harus diperhitungkan.

6.2.6 Dalam menghitung sifat penampang sebelum terjadinya lekatan baja prategang, pengaruh pengurangan luas penampang akibat selongsong terbuka harus diperhitungkan.

6.3 Asumsi desain

6.3.1 Kekuatan desain komponen struktur prategang terhadap beban lentur dan aksial harus didasarkan pada asumsi yang diberikan dalam Pasal 10.2 ACI 318-08, kecuali bahwa 6.3.1.1 berikut ini hanya berlaku untuk penulangan yang sesuai dengan Pasal 6.3.1.2.

6.3.1.1 Tegangan pada tulangan di bawah f_y harus diambil sebagai E_s dikalikan regangan baja. Untuk regangan yang lebih besar dari yang berkaitan dengan f_y , tegangan pada tulangan harus dianggap bebas dari regangan dan nilainya diambil sama dengan f_y .

6.3.1.2 Tulangan ulir

6.3.1.2.1 Batang tulangan ulir harus sesuai dengan persyaratan batang tulangan berulir dalam salah satu dari spesifikasi berikut, kecuali seperti diijinkan 6.3.1.2.3:

- (a) Baja karbon: ASTM A615M;
- (b) Baja alloy rendah: ASTM A706M;
- (c) Baja tahan karat: ASTM A955M;
- (d) Baja rel dan baja roda: ASTM A996M. Batang tulangan dari baja rel harus Tipe R.

6.3.1.2.2 Baja tulangan ulir harus sesuai dengan salah satu dari spesifikasi ASTM yang tertera dalam 6.3.1.2.1, kecuali bahwa untuk batang dengan f_y yang melebihi 420 MPa, kekuatan leleh harus diambil sebagai tegangan yang sesuai dengan regangan 0,35 persen. Lihat 9.4 ACI 318-08.

6.3.1.2.3 Batang tulangan ulir yang sesuai dengan ASTM A1035 boleh digunakan sebagai tulangan transversal dalam 7.6.4 atau tulangan spiral dalam 6.8.1.3.2.1.

6.3.1.2.4 Batang tulangan anyaman untuk penulangan beton harus sesuai dengan ASTM A184M. Batang tulangan yang digunakan dalam batang tulangan anyaman harus sesuai dengan ASTM A615M atau ASTM A706M.

6.3.1.2.5 Kawat ulir untuk tulangan beton harus sesuai dengan ASTM A496M, kecuali bahwa kawat tidak boleh lebih kecil dari ukuran MD25 atau lebih besar dari ukuran MD200 kecuali seperti diijinkan dalam 6.3.1.2.7. Untuk kawat dengan f_y yang melebihi 420 MPa, kekuatan leleh harus diambil sebagai tegangan yang sesuai dengan regangan 0,35 persen.

6.3.1.2.6 Tulangan kawat polos yang dilas harus sesuai dengan ASTM A185M, kecuali bahwa untuk kawat dengan f_y yang melebihi 420 MPa, kekuatan leleh harus diambil sebagai tegangan yang sesuai dengan regangan 0,35 persen. Spasi dari perpotongan yang dilas tidak boleh melebihi 300 mm dalam arah tegangan yang dihitung, kecuali tulangan kawat yang dilas serta digunakan sebagai sengkang menurut 12.13.2 ACI 318-08.

6.3.1.2.7 Tulangan kawat ulir yang dilas harus sesuai dengan ASTM A497M, kecuali bahwa untuk kawat dengan f_y yang melebihi 420 MPa, kekuatan leleh harus diambil sebagai tegangan yang sesuai dengan regangan 0,35 persen. Spasi dari perpotongan dilas tidak boleh melebihi 400 mm dalam arah tegangan yang dihitung, kecuali untuk tulangan kawat ulir yang dilas serta digunakan sebagai sengkang menurut 12.13.2 ACI 318-08. Kawat ulir yang lebih besar dari MD200 diijinkan bila digunakan dalam tulangan kawat dilas sesuai dengan ASTM A497M, tetapi harus diperlakukan sebagai kawat polos untuk desain penyaluran dan desain sambungan (*splice*).

6.3.1.2.8 Batang tulangan yang digalvanisasi harus sesuai dengan ASTM A767M. Batang tulangan yang dilapisi epoksi harus sesuai dengan ASTM A775M atau ASTM A934M. Batang tulangan yang digalvanisasi atau dilapisi epoksi harus sesuai dengan salah satu dari spesifikasi yang tertera dalam 6.3.1.2.1.

6.3.1.2.9 Kawat yang dilapisi epoksi dan tulangan kawat dilas harus sesuai dengan ASTM A884M. Kawat yang dilapisi epoksi harus sesuai dengan 6.3.1.2.4 dan tulangan kawat yang dilas dan dilapisi epoksi harus sesuai dengan 6.3.1.2.5 atau 6.3.1.2.6.

6.3.1.2.10 Kawat baja tahan karat berulir dan kawat dilas baja tahan karat berulir dan polos untuk tulangan beton harus sesuai dengan ASTM A1022M, kecuali kawat ulir tidak boleh lebih kecil dari ukuran MD25 atau lebih besar dari ukuran MD200, dan kekuatan leleh untuk kawat dengan f_y yang melebihi 420 MPa harus diambil sebagai tegangan yang sesuai dengan regangan 0,35 persen. Kawat ulir yang lebih besar dari MD200 diijinkan bila digunakan dalam tulangan kawat dilas sesuai dengan ASTM A1022M, tetapi harus diperlakukan sebagai kawat polos untuk desain penyaluran dan desain sambungan (*splice*). Spasi dari perpotongan yang dilas tidak boleh melebihi 300 mm untuk kawat polos dilas dan 400 mm untuk kawat ulir dilas dalam arah tegangan yang dihitung, kecuali tulangan kawat dilas yang digunakan sebagai sengkang sesuai dengan 12.13.2 ACI 318-08.

6.3.2 Untuk pemeriksaan tegangan pada saat penyaluran gaya prategang, baik pada saat kondisi beban layan maupun pada kondisi beban retak, harus digunakan teori elastis dengan asumsi 6.3.2.1 dan 6.3.2.2.

6.3.2.1 Regangan bervariasi linier di arah ketinggian untuk seluruh tahap pembebanan.

6.3.2.2 Dalam penampang retak, beton tidak menahan tarik.

6.3.3 Komponen lentur prategang harus diklasifikasikan sebagai Kelas U, Kelas T, atau Kelas C berdasarkan f_t , tegangan serat tarik terluar dalam zona tarik pra-tertekan yang dihitung pada tahap beban layan sebagai berikut:

- a) Kelas U: $f_t \leq 0,62\sqrt{f'_c}$
- b) Kelas T: $0,62\sqrt{f'_c} < f_t \leq 1,0\sqrt{f'_c}$
- c) Kelas C: $f_t > 1,0\sqrt{f'_c}$

Sistem pelat prategang dua arah harus didesain sebagai Kelas U dengan $f_t \leq 0,50\sqrt{f'_c}$.

6.3.4 Untuk komponen struktur lentur Kelas U dan Kelas T, tegangan pada beban layan harus diijinkan dihitung dengan menggunakan penampang tanpa retak. Untuk komponen struktur lentur Kelas C, tegangan pada beban layan harus dihitung dengan menggunakan penampang transformasi retak.

6.3.5 Lendutan komponen struktur lentur prategang harus dihitung menurut 6.3.5.1.

6.3.5.1 Konstruksi beton prategang

6.3.5.1.1 Untuk komponen struktur lentur yang didesain sesuai dengan ketentuan Pasal 6, lendutan seketika harus dihitung dengan metode biasa atau formula untuk lendutan elastis, dan momen inersia penampang beton bruto, I_g , boleh digunakan untuk komponen struktur lentur Kelas U, seperti didefinisikan dalam 6.3.3.

6.3.5.1.2 Untuk komponen struktur lentur Kelas C dan Kelas T, seperti didefinisikan dalam 6.3.3, perhitungan lendutan harus didasarkan pada analisis penampang transformasi retak. Dijinkan untuk mendasarkan perhitungan atas hubungan momen-lendutan bilinear, atau momen inersia efektif, I_e , seperti didefinisikan Persamaan (10).

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \quad (10)$$

dimana

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (11)$$

dan

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f'_c} \quad (12)$$

6.3.5.1.3 Lendutan jangka panjang tambahan dari komponen struktur beton prategang harus dihitung dengan memperhatikan tegangan pada beton dan baja di bawah beban tetap dan menyertakan pengaruh rangkai dan susut beton dan relaksasi baja.

6.3.5.1.4 Lendutan yang dihitung menurut 6.3.5.1.1 atau 6.3.5.1.2, dan 6.3.5.1.3 tidak boleh melebihi batas yang ditetapkan dalam Tabel 3.

6.4 Persyaratan kemampuan layan –Komponenstruktur lentur

6.4.1 Tegangan beton segera sesudah penyaluran prategang (sebelum terjadinya kehilangan prategang yang tergantung waktu):

(a) Tegangan serat tekan terluar kecuali seperti yang diijinkan dalam (b) tidak boleh melebihi..... $0,60 f'_{ci}$

(b) Tegangan serat tekan terluar pada ujung-ujung komponen tertumpu sederhana tidak boleh melebihi $0,70 f'_{ci}$

(c) Jika kekuatan tarik beton yang dihitung, f_t , melebihi $0,5\sqrt{f'_{ci}}$ pada ujung-ujung komponen tertumpu sederhana, atau $0,25\sqrt{f'_{ci}}$ pada lokasi lainnya, maka harus dipasang tulangan lekatan tambahan dalam zona tarik untuk menahan gaya tarik total dalam beton, yang dihitung berdasarkan asumsi penampang yang tidak retak.

6.4.2 Untuk komponen lentur prategang Kelas U dan Kelas T, tegangan beton beban layan (berdasarkan sifat penampang tidak retak, dan sesudah semua kehilangan prategang diijinkan) tidak boleh melebihi nilai berikut:

(a) Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, ditambah beban tetap $0,45 f'_c$

(b) Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, ditambah beban total $0,60 f'_c$

6.4.3 Tegangan ijin beton dalam 6.4.1 dan 6.4.2 boleh dilampaui jika dengan pengujian atau analisis bisa dibuktikan bahwa kinerja struktur tidak dipengaruhi.

6.4.4 Untuk komponen lentur prategang Kelas C yang tidak mengalami fatik atau lingkungan yang agresif, spasi tulangan lekatan yang terdekat dengan serat tarik terluar tidak boleh melebihi yang diberikan dalam 6.4.4.1.1.

Untuk struktur yang mengalami fatik atau lingkungan terekspos terhadap korosi, diperlukan penyelidikan dan kehati-hatian yang seksama.

6.4.4.1 Persyaratan spasi harus dipenuhi oleh tulangan non-prategang dan tendon lekatan. Spasi tendon lekatan tidak boleh melebihi 2/3 spasi maksimum yang diijinkan untuk tulangan non-prategang.

Jika tulangan dan tendon lekatan digunakan bersamaan untuk memenuhi persyaratan spasi, maka spasi antara suatu tulangan dan tendon tidak boleh melebihi 5/6 dari yang diijinkan Pasal 6.4.4.1.1. Juga lihat 6.4.4.3.

6.4.4.1.1 Spasi tulangan terdekat dengan muka tarik, s , tidak boleh melebihi yang diberikan oleh Persamaan (13) berikut ini:

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \dots\dots\dots (13)$$

tetapi tidak lebih besar dari $300(280/f_s)$, di mana c_c adalah jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik. Jika ada hanya satu batang tulangan atau kawat terdekat dengan muka tarik terluar, s yang digunakan dalam persamaan diatas adalah lebar dari muka tarik terluar.

Tegangan terhitung f_s pada tulangan terdekat kepada muka tarik pada beban layan harus dihitung berdasarkan momen tidak terfaktor. Nilai f_s boleh diambil sebesar $2/3f_y$.

6.4.4.2 Dalam menerapkan Persamaan(13) terhadap tendon prategang, Δf_{ps} harus dimasukkan sebagai pengganti f_s , di mana Δf_{ps} harus diambil sebagai tegangan terhitung baja prategang pada beban layan berdasarkan analisis penampang retak dikurangi tegangan dekompresi f_{dc} . Nilai f_{dc} boleh diambil sama dengan tegangan efektif f_{se} pada baja prategang. Juga lihat 6.4.4.3.

6.4.4.3 Dalam menerapkan Persamaan (13) terhadap tendon prategang, besar Δf_{ps} tidak boleh melebihi 250 MPa. Jika Δf_{ps} bernilai sama dengan atau kurang dari 140 MPa, persyaratan spasi dalam 6.4.4.1 dan 6.4.4.2 tidak berlaku.

6.4.4.4 Jika tinggi balok h melebihi 900mm, luas tulangan selimut longitudinal yang terdiri dari baja tulangan atau tendon lekatan harus disediakan menurut Pasal 6.4.4.4.1.

6.4.4.4.1 Bila h suatu balok atau rusuk melebihi 900 mm, tulangan selimut longitudinal harus didistribusikan secara merata sepanjang kedua sisi muka komponen struktur. Tulangan selimut harus diperpanjang sejarak $h/2$ dari muka tarik. Spasi s harus disediakan menurut 6.4.4.1.1, di mana c_c adalah jarak terkecil dari permukaan tulangan selimut atau baja prategang terhadap sisi muka. Diperbolehkan memasukkan tulangan tersebut dalam perhitungan kekuatan jika analisis kompatibilitas regangan dilakukan untuk menentukan tegangan dalam masing-masing batang tulangan atau kawat.

6.5 Tegangan ijin pada baja prategang

6.5.1 Tegangan tarik pada baja prategang tidak boleh melebihi nilai berikut:

- (a) Akibat gaya pengangkutan baja prategang $0,94 f_{py}$
tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari $0,80 f_{pu}$ dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat baja prategang atau perangkat angkur.
- (b) Segera setelah penyaluran gaya prategang $0,82 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$.
- (c) Tendon pasca-tarik, pada perangkat angkur dan kopel (*couplers*), segera setelah penyaluran gaya $0,70 f_{pu}$

6.6 Kehilangan prategang

6.6.1 Untuk menentukan nilai tegangan efektif f_{se} baja prategang, harus diperhitungkan sumber kehilangan prategang berikut ini:

- (a) Dudukan baja prategang pada saat penyaluran gaya;

- (b) Perpendekan elastis beton;
- (c) Rangkak beton;
- (d) Susut beton;
- (e) Relaksasi dari tegangan baja prategang;
- (f) Kehilangan friksi akibat kelengkungan tendon pasca-tarik yang disengaja atau tidak disengaja.

6.6.2 Kehilangan friksi pada tendon pasca-tarik

6.6.2.1 Gaya P_{px} dalam tendon pasca-tarik pada jarak ℓ_{px} dari ujung angkur harus dihitung dengan

$$P_{px} = P_{pj} e^{-(K\ell_{px} + \mu_p \alpha_{px})} \quad (14)$$

Jika $(K\ell_{px} + \mu_p \alpha_{px})$ tidak lebih besar dari 0,30, maka P_{px} boleh dihitung dengan rumus berikut

$$P_{px} = P_{pj} (1 + K\ell_{px} + \mu_p \alpha_{px})^{-1} \quad (15)$$

6.6.2.2 Kehilangan friksi harus didasarkan pada nilai *wobble* K dan friksi kelengkungan μ_p yang ditentukan dengan pengujian, dan harus dibuktikan selama pelaksanaan penarikan tendon.

6.6.2.3 Nilai K dan μ_p yang digunakan dalam desain harus dicantumkan dalam gambar desain. Lihat Tabel 4.

Tabel 4 -Koefisien friksi untuk tendon pasca-tarik untuk digunakan pada Persamaan (14) atau Persamaan (15)

		Koefisien wobble, K per meter	Koefisien kelengkungan, μ_p Per radian
Tendon digROUT pada metal pelapis		Tendon kawat	0,0033 - 0,0049
		Batang tulangan kekuatan tinggi	0,0003 - 0,0020
		Strand 7 kawat	0,0016 - 0,0066
Tendon tanpa lekatan	Dilapis plastik (Mastic)	Tendon kawat	0,0033 - 0,0066
		Strand 7 kawat	0,0033 - 0,0066
	Diminyaki sebelumnya (Pre-greased)	Tendon kawat	0,0010 - 0,0066
		Strand 7 kawat	0,0010 - 0,0066

6.6.3 Bila kehilangan prategang dalam suatu komponen struktur terjadi akibat penyambungan komponen struktur tersebut dengan komponen struktur lain yang bersebelahan, maka kehilangan gaya prategang tersebut harus diperhitungkan dalam desain.

6.7 Kekuatan lentur

6.7.1 Kekuatan momen desain komponen struktur lentur harus dihitung dengan metoda desain kekuatan yang tercantum dalam standar ini. Untuk baja prategang, f_y harus digantikan dengan f_{ps} dalam perhitungan kekuatan.

6.7.2 Sebagai alternatif terhadap penentuan f_{ps} yang lebih tepat berdasarkan kompatibilitas regangan, nilai pendekatan f_{ps} berikut ini boleh digunakan jika nilai f_{se} tidak kurang dari $0,5 f_{pu}$.

(a) Untuk komponen struktur dengan tendon lekatan:

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right) \quad (16)$$

di mana ω adalah $\rho f_y / f'_c$, ω' adalah $\rho' f_y / f'_c$, dan γ_p adalah 0,55 untuk f_{py} / f_{pu} tidak kurang dari 0,8; 0,40 untuk f_{py} / f_{pu} tidak kurang dari 0,85; dan 0,28 untuk f_{py} / f_{pu} tidak kurang dari 0,90.

Jika tulangan tekan disertakan dalam penghitungan f_{ps} dengan Persamaan (16), maka faktor

$$\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right]$$

harus diambil tidak kurang dari 0,17 dan d' tidak lebih dari $0,15 d_p$.

(b) Untuk komponen struktur dengan tendon tanpa lekatan dan dengan rasio bentang terhadap tinggi tidak lebih dari 35:

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100 \rho_p} \quad (17)$$

tetapi nilai f_{ps} dalam Persamaan (17) tidak boleh diambil lebih besar dari pada nilai terkecil dari f_{py} dan $(f_{se} + 420)$.

(c) Untuk komponen struktur dengan tendon tanpa lekatan dan dengan rasio bentang terhadap tinggi lebih besar dari 35:

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{300 \rho_p} \quad (18)$$

tetapi nilai f_{ps} dalam Persamaan (18) tidak boleh diambil lebih besar dari nilai terkecil dari f_{py} dan $(f_{se} + 210)$.

6.7.3 Jika digunakan bersamaan dengan baja prategang, tulangan non-prategang yang memenuhi 6.3.1.2 boleh dianggap menyumbangkan gaya tarik dan boleh disertakan dalam

perhitungan kekuatan momen pada tegangan yang sama dengan f_y . Tulangan non-prategang lainnya boleh disertakan dalam perhitungan kekuatan hanya jika analisis kompatibilitas regangan dilakukan untuk menentukan tegangan pada tulangan tersebut.

6.8 Batas untuk tulangan komponen struktur lentur

6.8.1 Penampang beton prategang harus diklasifikasikan sebagai salah satu dari penampang terkontrol tarik, transisi atau terkontrol tekan, sesuai dengan 6.8.1.1 dan 6.8.1.2. Faktor reduksi kekuatan ϕ yang sesuai harus diterapkan menurut 6.8.1.3.

6.8.1.1 Penampang adalah terkontrol-tekan jika regangan tarik netto pada baja tarik ekstrim, ε_t , sama dengan atau kurang dari batas regangan terkontrol-tekan bila beton dalam tekan mencapai batas regangan yang diasumsikan sebesar 0,003. Batas regangan terkontrol-tekan adalah regangan tarik netto dalam tulangan pada kondisi regangan berimbang. Untuk tulangan Grade 420, dan untuk semua tulangan prategang, diperbolehkan untuk menetapkan batas regangan terkontrol-tekan sebesar 0,002.

6.8.1.2 Penampang adalah terkontrol-tarik jika regangan tarik netto pada baja tarik ekstrim, ε_t , sama dengan atau lebih besar dari 0,005 bila beton dalam tekan mencapai batas regangan yang diasumsikan sebesar 0,003. Penampang dengan ε_t antara batas regangan terkontrol-tekan dan 0,005 merupakan suatu daerah transisi antara penampang terkontrol-tekan dan terkontrol-tarik.

6.8.1.3 Faktor reduksi kekuatan ϕ harus seperti yang diberikan dalam 6.8.1.3.1 sampai 6.8.1.3.7:

6.8.1.3.1 Penampang terkontrol-tarik seperti didefinisikan dalam 6.8.1.1 0,90
(Lihat juga 6.8.1.3.7)

6.8.1.3.2 Penampang terkontrol-tekan, seperti didefinisikan dalam 6.8.1.1:

(a) Komponen struktur dengan tulangan spiral sesuai dengan 6.8.1.3.2.1 0,75

(b) Komponen struktur bertulang lainnya 0,65

Untuk penampang di mana regangan tarik netto dalam baja tarik ekstrim pada kekuatan nominal, ε_t , adalah antara batas untuk penampang terkontrol-tekan dan terkontrol-tarik, ϕ diambil meningkat linear dari yang untuk penampang terkontrol-tekan sampai 0,90 sesuai dengan peningkatan ε_t dari batas regangan terkontrol-tekan sampai 0,005.

Secara alternatif, bila Apendiks B digunakan untuk komponen struktur di mana f_y tidak melebihi 420 MPa, dengan tulangan simetris dan dengan $(d - d')/h$ tidak kurang dari 0,70, ϕ boleh diambil meningkat secara linear hingga 0,90 sesuai pengurangan ϕP_n dari $0,10f'_c A_g$ ke nol. Untuk komponen struktur bertulang lainnya, ϕ boleh diambil meningkat secara linear hingga 0,90 sesuai pengurangan ϕP_n mulai dari nilai terkecil antara $0,10f'_c A_g$ dan ϕP_b , sampai nol.

6.8.1.3.2.1 Rasio tulangan spiral volumetrik, ρ_s , tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (19)$$

di mana nilai f_{yt} yang digunakan dalam Persamaan (19) tidak boleh melebihi 700 MPa. Untuk f_{yt} yang lebih besar dari 420 MPa, sambungan lewatan yang sesuai dengan 7.10.4.5(a) ACI 318-08 tidak boleh digunakan.

6.8.1.3.3 Geser dan torsi 0,75

6.8.1.3.4 Penumpu beton (kecuali zona angkur pasca-tarik dan model strut-dan-senggang pengikat) 0,65

6.8.1.3.5 Zona angkur pasca-tarik 0,85

6.8.1.3.6 Model strut-dan-senggang pengikat (Apendiks A), dan struts, senggang pengikat, zona nodal, dan luas penumpu pada model seperti itu 0,75

6.8.1.3.7 Penampang lentur pada komponen struktur pratarik di mana strand tertanam kurang dari panjang pengembangan seperti yang diberikan dalam 6.8.1.3.8:

(a) Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang penyaluran 0,75

(b) Dari ujung panjang penyaluran ke ujung panjang pengembangan ϕ harus diijinkan ditingkatkan secara linier dari 0,75 sampai 0,9

Bila lekatan suatu strand tidak diperpanjang sampai ujung komponen struktur, strand tertanam harus diasumsikan mulai di ujung dari panjang tanpa lekatan. Lihat juga 6.8.1.3.9.

6.8.1.3.8 Penanaman yang kurang dari ℓ_d harus diijinkan pada suatu penampang komponen struktur tersedia tegangan strand desain pada yang penampang tidak melebihi nilai yang diperoleh dari hubungan bilinear yang didefinisikan oleh Persamaan (20).

$$\ell_d = \left(\frac{f_{se}}{21} \right) d_b + \left(\frac{f_{ps} - f_{se}}{7} \right) d_b \quad (20)$$

6.8.1.3.9 Bila lekatan suatu strand tidak diperpanjang sampai ujung komponen struktur, dan desain mencakup tarik pada beban layan dalam zona tarik pra-tertekan seperti diijinkan oleh 6.4.2, ℓ_d yang disyaratkan dalam 6.8.1.3.10 harus digandakan.

6.8.1.3.10 Kecuali seperti diberikan dalam 6.8.1.3.8, kawat tujuh untai harus dilekatkan di luar penampang kritis, sejarak tidak kurang dari yang diberikan oleh Persamaan (20).

Ekspresi dalam tanda kurung yang digunakan sebagai konstanta tanpa satuan.

6.8.2 Jumlah total tulangan prategang dan non-prategang dalam komponen struktur tulangan prategang dengan lekatan harus mencukupi untuk mengembangkan beban terfaktor setidaknya 1,2 kali beban retak yang dihitung berdasarkan modulus runtuh f_r yang

disyaratkan dalam 6.3.5.1.2. Ketentuan ini diijinkan dapat diabaikan untuk komponen lentur dengan kekuatan geser dan lentur paling sedikit 2 kali yang disyaratkan 9.2 ACI 318-08.

6.8.3 Bagian atau seluruh tulangan lekatan yang terdiri atas batang atau tendon harus disediakan sepraktis dan sedekat mungkin kepada muka tarik komponen lentur prategang. Dalam komponen yang diprategang dengan tendon tanpa lekatan, tulangan lekatan minimum yang terdiri dari batang atau tendon harus memenuhi 6.9.

6.9 Tulangan lekatan minimum

6.9.1 Pada semua komponen struktur lentur dengan tendon tanpa lekatan, harus dipasang tulangan lekatan dengan luas minimum yang memenuhi 6.9.2 dan 6.9.3.

6.9.2 Kecuali sebagai mana ditentukan dalam 6.9.3, luas tulangan lekatan minimum harus dihitung dengan

$$A_s = 0,004 A_{ct} \quad (21)$$

di mana A_{ct} adalah luas sebagian penampang antara muka tarik lentur dan titik pusat gravitasi penampang bruto.

6.9.2.1 Tulangan lekatan yang ditentukan oleh Persamaan (21) harus disebar merata pada zona tarik pra-kompresi sedekat dan sepraktis mungkin pada serat tarik terluar.

6.9.2.2 Tulangan lekatan tetap diperlukan tanpa memperhatikan kondisi tegangan beban layan.

6.9.3 Untuk sistem pelat dua-arah, luas minimum dan penyebaran tulangan lekatan harus mengikuti 6.9.3.1, 6.9.3.2 dan 6.9.3.3.

6.9.3.1 Tulangan lekatan tidak perlu disyaratkan di daerah momen positif dimana tegangan f_t sebagai tegangan serat tarik terluar dalam zona tarik pra-kompresi pada beban layan, (setelah dikurangi semua kehilangan prategang), tidak melebihi $0,17\sqrt{f'_c}$.

6.9.3.2 Pada daerah momen positif di mana tegangan tarik terhitung dalam beton pada beban layan melebihi $0,17\sqrt{f'_c}$, luas minimum dari tulangan lekatan harus dihitung berdasarkan

$$A_s = \frac{N_c}{0,5f_y} \quad (22)$$

di mana f_y tidak melebihi 420 MPa. Tulangan lekatan harus disebar merata pada zona tarik pra-kompresi sedekat dan sepraktis mungkin kepada serat tarik terluar.

6.9.3.3 Dalam daerah momen negatif pada kolom penumpu, luas minimum tulangan lekatan A_s pada atas pelat di masing-masing arah harus dihitung dengan

$$A_s = 0,00075 A_{cf} \quad (23)$$

di mana A_{cf} adalah luas penampang bruto terbesar dari lajur pelat-balok di dua portal ekuivalen ortogonal yang berpotongan pada kolom di pelat dua arah.

Tulangan lekatan yang disyaratkan oleh Persamaan (23) harus disebarakan antara garis-garis sejarak $1,5h$ antara muka-muka luar yang berlawanan dari tumpuan kolom. Di masing-masing arah, paling sedikit harus dipasang empat batang tulangan atau kawat. Spasi tulangan lekatan tidak boleh melebihi 300 mm.

6.9.4 Panjang minimum tulangan lekatan yang disyaratkan 6.9.2 dan 6.9.3 harus memenuhi persyaratan 6.9.4.1, 6.9.4.2 dan 6.9.4.3.

6.9.4.1 Dalam daerah momen positif, panjang minimum tulangan lekatan adalah sepertiga bentang bersih ℓ_n dan dipasang sentris dalam daerah momen positif.

6.9.4.2 Dalam daerah momen negatif, tulangan lekatan harus diperpanjang sampai seperenam dari bentang bersih ℓ_n pada masing-masing sisi tumpuan.

6.9.4.3 Bila tulangan lekatan disediakan untuk ϕM_n sesuai 6.7.3, atau untuk kondisi tegangan tarik sesuai 6.9.3.2, maka panjang minimum juga harus memenuhi Pasal 12 ACI 318-08.

6.10 Struktur statis tidak tentu

6.10.1 Portal dan konstruksi menerus beton prategang harus didesain agar memenuhi syarat kinerja pada kondisi beban layan dan memiliki kekuatan yang cukup.

6.10.2 Kinerja pada kondisi beban layan harus ditentukan dengan analisis elastis, dengan meninjau gaya reaksi, momen, geser, dan aksial yang timbul akibat prategang, rangkai, susut, perubahan suhu, deformasi aksial, kekangan yang diberikan oleh komponen struktur yang menyatu dengan elemen yang ditinjau, dan penurunan fondasi.

6.10.3 Momen yang digunakan untuk menghitung kekuatan perlu adalah jumlah momen-momen akibat reaksi yang ditimbulkan oleh prategang (dengan faktor beban sebesar 1,0) dan momen akibat beban terfaktor. Penyesuaian dalam jumlah momen-momen ini diijinkan sesuai 6.10.4.

6.10.4 Redistribusi momen pada komponen struktur lentur prategang menerus

6.10.4.1 Jika tulangan lekatan disediakan berdasarkan ketentuan 6.9, momen negatif atau positif yang dihitung dengan teori elastis untuk setiap pola pembebanan boleh dikurangi menurut 6.10.4.1.1.

6.10.4.1.1 Redistribusi momen pada komponen struktur lentur menerus

6.10.4.1.1.1 Kecuali bila digunakan nilai momen perkiraan, maka diperbolehkan untuk mengurangi momen terfaktor yang dihitung dengan teori elastis pada penampang momen negatif maksimum atau momen positif maksimum di setiap bentang komponen struktur lentur menerus untuk setiap pengaturan beban yang diasumsikan tidak lebih dari $1000\varepsilon_t$ persen, dengan maksimum 20 persen.

6.10.4.1.1.2 Redistribusi momen boleh dilakukan hanya bila ε_t sama dengan atau lebih besar dari 0,0075 pada penampang di mana momen direduksi.

6.10.4.2 Momen yang tereduksi tersebut harus digunakan untuk menghitung momen redistribusi pada semua penampang lainnya di sepanjang bentang. Keseimbangan statis harus dipertahankan setelah redistribusi momen untuk masing-masing pengaturan pembebanan.

6.11 Komponen struktur tekan – Kombinasi beban lentur dan aksial

6.11.1 Komponen struktur beton prategang yang mengalami kombinasi beban lentur dan aksial, dengan atau tanpa tulangan non-prategang, harus diproporsikan dengan metoda desain kekuatan dalam standar ini. Pengaruh dari prategang, rangkai, susut, dan perubahan suhu harus ikut diperhitungkan.

6.11.2 Batas untuk tulangan komponen struktur tekan prategang

6.11.2.1 Komponen struktur dengan tegangan tekan rata-rata pada beton yang kurang dari 1,6 MPa akibat gaya prategang efektif saja, harus memiliki tulangan minimum sesuai dengan 8.3 untuk dinding, 7.10 ACI 318-08 dan ketentuan berikut ini untuk kolom.

6.11.2.1.1 Luas tulangan longitudinal A_{st} untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,08A_g$.

6.11.2.1.2 Jumlah minimum batang tulangan longitudinal pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan dalam sengkang pengikat persegi atau lingkaran, 3 untuk batang tulangan dalam sengkang pengikat segitiga dan 6 untuk batang tulangan yang dilingkari spiral menurut 6.11.2.1.3.

6.11.2.1.3 Rasio tulangan spiral volumetrik ρ_s , tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (24)$$

di mana nilai f_{yt} yang digunakan tidak boleh melebihi 700 MPa. Untuk nilai f_{yt} yang melebihi 420 MPa, sambungan lewatan menurut 7.10.4.5(a) ACI 318-08.

6.11.2.2 Kecuali untuk dinding, semua tendon prategang dalam komponen struktur dengan tegangan tekan rata-rata dalam beton akibat gaya prategang efektif saja, sama dengan atau lebih besar dari 1,6 MPa, harus dilingkupi dengan tulangan spiral atau sengkang pengikat lateral sesuai (a) sampai (d):

- (a) Tulangan spiral harus sesuai dengan 7.10.4 ACI 318-08;
- (b) Sengkang pengikat lateral paling sedikit harus berukuran D-10 atau tulangan kawat dilas dengan luas yang ekuivalen, dan dipasang dengan spasi vertikal tidak lebih dari 48 kali diameter tulangan sengkang pengikat lateral, atau diameter kawat, atau dimensi terkecil dari komponen struktur tekan;
- (c) Sengkang pengikat harus dipasang vertikal tidak lebih dari setengah spasi sengkang pengikat di atas bagian paling atas fondasi telapak atau pelat pada tingkat manapun, dan tidak lebih dari setengah spasi sengkang pengikat di bawah tulangan horisontal yang paling bawah pada komponen struktur yang ditumpu di atasnya;

(d) Jika balok atau konsol pendek dihubungkan kepada semua sisi kolom, sengkang pengikat harus dihentikan tidak lebih dari 75 mm di bawah tulangan terbawah balok atau konsol pendek.

6.11.2.3 Untuk dinding dengan tegangan tekan beton rata-rata akibat gaya prategang efektif saja, bernilai sama dengan atau lebih besar dari 1,6 MPa, tulangan minimum yang diperlukan menurut 8.3 tidak berlaku bila analisis struktur menunjukkan kekuatan dan stabilitas yang cukup.

6.12 Sistem pelat

6.12.1 Momen dan geser terfaktor dalam sistem pelat prategang yang diperkuat terhadap lentur pada lebih dari satu arah harus ditentukan sesuai dengan 13.7 ACI 318-08 (tidak termasuk 13.7.7.4 dan 13.7.7.5 ACI 318-08), atau dengan prosedur desain yang lebih rinci.

6.12.2 Kekuatan lentur ϕM_n pelat prategang yang disyaratkan oleh 9.3 ACI 318-08 pada setiap penampang harus lebih besar atau sama dengan M_u dengan mempertimbangkan 9.2 ACI 318-08, dan 6.10.3 serta 6.10.4. Kekuatan geser ϕV_n pelat prategang pada kolom yang disyaratkan oleh 9.3 ACI 318-08 harus lebih besar atau sama dengan V_u dengan mempertimbangkan 9.2, 11.1, 11.11.2 dan 11.11.6.2 ACI 318-08.

6.12.3 Pada kondisi beban layan, semua pembatasan kemampuan layan, termasuk batas lendutan harus dipenuhi, dengan mempertimbangkan faktor yang sesuai dan tercantum dalam 6.10.2.

6.12.4 Untuk beban terdistribusi merata, spasi tendon atau kelompok tendon prategang setidaknya pada satu arah tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 8 kali tebal pelat dan 1,5 m. Spasi tendon tersebut juga harus memberi prategang efektif rata-rata minimum sebesar 0,9 MPa pada penampang pelat tributari terhadap tendon atau grup tendon. Untuk pelat dengan penampang bentang yang bervariasi di sepanjang bentang pelat, baik yang sejajar atau tegak lurus tendon atau grup tendon, prategang efektif rata-rata minimum sebesar 0,9 MPa diperlukan pada setiap penampang melintang tributari terhadap tendon atau grup tendon di sepanjang bentang. Beban terpusat dan bukaan pada pelat harus dipertimbangkan pada saat menentukan spasi tendon.

6.12.5 Pada pelat dengan tendon tanpa lekatan, tulangan dengan lekatan harus disediakan sesuai dengan 6.9.3 dan 6.9.4.

6.12.6 Kecuali seperti diperkenankan dalam 6.12.7, pada pelat dengan tendon tanpa lekatan harus disediakan minimum 2 strand berdiameter 12,7 mm atau lebih besar, 7 untai strand pasca-tarik di masing-masing arah pada kolom, dengan meneruskan atau mengangkurkan dalam daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal kolom. Di luar muka kolom atau kepala geser, kedua tendon integritas struktural harus dilewatkan dari bawah setiap tendon ortogonal manapun pada bentang yang berdekatan. Jika dua tendon yang terintegritas secara struktural diangkurkan di dalam daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal kolom, pengangkurkan harus ditempatkan di luar titik pusat kolom menjauh dari bentang yang diangkur.

6.12.7 Pelat prategang yang tidak memenuhi 6.12.6 diperbolehkan asalkan pelat diberi tulangan bawah pada masing-masing arah serta melewati daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal kolom dan diangkurkan pada tumpuan eksterior sebagai mana disyaratkan oleh 13.3.8.5 ACI 318-08. Luas tulangan bawah di masing-masing arah tidak boleh kurang dari 1,5 kali yang disyaratkan oleh Persamaan (25) dan tidak kurang dari

$2,1b_w d/f_y$ di mana b_w adalah lebar muka kolom yang dilewati tulangan. Perpanjangan minimum batang tulangan ini di luar kolom atau muka kepala geser harus sama atau lebih besar dari panjang penyaluran tulangan yang disyaratkan oleh 12.2.1 ACI 318-08.

$$A_{s,min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (25)$$

6.12.8 Pada konstruksi pelat angkat, tulangan bawah lekatan harus didetailkan menurut 13.3.8.6 ACI 318-08.

6.13 Zona pengangkuran tendon pasca-tarik

6.13.1 Zona pengangkuran

Zona pengangkuran dapat dipandang sebagai terdiridari dua zona:

- a) Zona pengangkuran lokal, yang berbentuk prisma persegi (atau prisma persegi ekuivalen untuk pengangkuran bundar atau oval) dari beton yang langsung mengelilingi perangkat pengangkuran dan setiap tulangan pengekan;
- b) Zona pengangkuran global, yang merupakan zona pengangkuran sebagai mana didefinisikan dalam 3.2 dan mencakup zona pengangkuran lokal.

6.13.2 Zona pengangkuran lokal

6.13.2.1 Desain zona pengangkuran lokal harus didasarkan pada gaya prategang terfaktor, P_{pu} , dan persyaratan 6.13.2.1.1 dan 6.13.2.1.2.

6.13.2.1.1 Untuk desain zona pengangkuran pasca-tarik, faktor beban 1,2 harus diterapkan pada gaya jacking baja prategang maksimum.

6.13.2.1.2 Faktor reduksi kekuatan ϕ untuk zona pengangkuran pasca-tarik harus diambil sebesar 0,85.

6.13.2.2 Tulangan zona pengangkuran lokal harus dipasang di tempat di mana diperlukan agar perangkat pengangkuran dapat berfungsi dengan tepat.

6.13.2.3 Persyaratan zona pengangkuran lokal dalam 6.13.2.2 dipenuhi oleh 6.14.1 atau 6.15.1 dan 6.15.2.

6.13.3 Zona pengangkuran global

6.13.3.1 Desain zona pengangkuran global harus didasarkan pada gaya prategang terfaktor, P_{pu} , dan persyaratan 6.13.2.1.1 dan 6.13.2.1.2.

6.13.3.2 Tulangan zona pengangkuran global harus disediakan jika diperlukan untuk menahan gaya pencar, spalling, dan gaya-gaya tarik tepi longitudinal akibat perangkat pengangkuran. Pengaruh dari perubahan penampang yang mendadak harus diperhitungkan.

6.13.3.3 Persyaratan zona pengangkuran global dalam 6.13.3.2 dipenuhi oleh 6.13.4, 6.13.5, 6.13.6 dan salah satu yang berlaku dari 6.14.2 atau 6.14.3 atau 6.15.3.

6.13.4 Kekuatan material nominal

6.13.4.1 Tegangan tarik pada kekuatan nominal dari tulangan dengan lekatan dibatasi sampai f_y untuk tulangan non-prategang dan sampai f_{py} untuk tulangan prategang. Tegangan tarik pada kekuatan nominal tulangan prategang tanpa lekatan untuk menahan gaya tarik pada zona pengangkuran harus dibatasi sampai $f_{ps} = f_{se} + 70$.

6.13.4.2 Kecuali untuk beton terkekang dengan tulangan spiral atau *hoop* yang memberikan pengekanan yang ekuivalen dengan Persamaan (26), kekuatan tekan beton pada kekuatan nominal di zona pengangkuran global harus dibatasi sampai $0,7 \lambda f'_{ci}$.

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (26)$$

6.13.4.3 Kekuatan tekan beton pada saat penarikan tendon pasca-tarik harus disyaratkan dalam dokumen kontrak. Kecuali bila perangkat pengangkuran berukuran lebih besar digunakan untuk menyesuaikan ukuran dengan kekuatan tekan yang lebih rendah atau baja prategang ditarik sampai tidak lebih dari 50 persen dari gaya prategang akhir, baja prategang tidak boleh ditarik sampai kekuatan tekan beton yang dibuktikan melalui pengujian sesuai dengan perawatan komponen struktur, tidak kurang dari 28 MPa untuk tendon multi-strand atau tidak kurang dari 17 MPa untuk tendon strand atau batang.

6.13.5 Metode desain

6.13.5.1 Metode berikut diperbolehkan untuk desain zona pengangkuran global yang asalkan prosedur khusus yang digunakan menghasilkan perkiraan kekuatan yang sangat sesuai dengan hasil pengujian yang komprehensif:

- Keseimbangan yang didasarkan atas model plastis (model penunjang dan pengikat);
- Analisis tegangan linier (termasuk analisis elemen hingga atau sejenisnya); atau
- Persamaan yang disederhanakan serta yang bisa diterapkan.

6.13.5.2 Persamaan yang disederhanakan tidak boleh digunakan bila penampang melintang komponen struktur berbentuk bukan persegi, di mana diskontinuitas pada atau sekitar zona pengangkuran global menyebabkan deviasi pada lintasan aliran gaya, bila jarak tepi minimum kurang dari 1-1/2 kali dimensi lateral perangkat pengangkuran pada arah tersebut, atau bila perangkat angkur majemuk yang digunakan selain dari satu grup yang ditempatkan tertutup.

6.13.5.3 Urutan penarikan tendon harus dicantumkan dalam gambar desain dan ditentukan dalam desain.

6.13.5.4 Pengaruh tiga dimensi harus diperhitungkan dalam desain dan dianalisis dengan menggunakan prosedur tiga dimensi atau di dekati dengan memperhitungkan penjumlahan pengaruh untuk dua bidang ortogonal.

6.13.5.5 Untuk alat angkur yang ditempatkan jauh dari ujung komponen struktur, tulangan dengan lekatan harus dipasang untuk menyalurkan gayatidak kurang dari $0,35 P_{pu}$ ke penampang beton yang berada di belakang angkur. Tulangan tersebut harus dipasang simetris mengelilingi alat angkur dan harus mempunyai panjang penyaluran yang memadai baik di depan maupun di belakang alat angkur.

6.13.5.6 Bila mana digunakan tendon melengkung pada zona pengangkuran global, maka tulangan dengan lekatan harus diberikan untuk menahan gaya radial dan splitting, kecuali untuk tendon *strand* tunggal pada pelat atau bila analisis memperlihatkan bahwa tulangan tersebut tidak dibutuhkan.

6.13.5.7 Tulangan minimum dengan kekuatan tarik nominal sama dengan 2 % dari masing-masing gaya prategang terfaktor harus dipasang pada arah-arang ortogonal yang sejajar dengan sisi belakang dari zona pengangkuran untuk membatasi *spalling* (pecah), kecuali untuk tendon *strand* tunggal pada pelat atau bila analisis memperlihatkan bahwa tulangan tersebut tidak dibutuhkan.

6.13.5.8 Kekuatan tarik beton harus diabaikan dalam perhitungan kebutuhan tulangan.

6.13.6 Persyaratan pendetailan

Pemilihan ukuran tulangan, spasi tulangan, selimut beton dan detail lainnya untuk zona pengangkuran harus menyediakan toleransi untuk pembengkokan, fabrikasi dan penempatan tulangan, untuk ukuran agregat, serta untuk kecukupan pengecoran dan pemadatan beton.

6.14 Desain zona pengangkuran untuk strand tunggal atau batang tendon tunggal berdiameter 16 mm

6.14.1 Desain zona pengangkuran lokal

Perangkat angkut dan penulangan zona pengangkuran lokal untuk *strand* tunggal atau batang tunggal berdiameter 16 mm atau batang tunggal berdiameter lebih kecil harus memenuhi ketentuan yang berlaku dalam ACI 423.7, atau persyaratan alat angkut khusus dari 6.15.2.

6.14.2 Desain zona pengangkuran global untuk tendon pelat

6.14.2.1 Penggunaan perangkat angkut untuk *strand* berdiameter 12,7 mm atau lebih kecil pada pelat lantai yang terbuat dari beton normal harus disertai dengan pemasangan tulangan minimum yang memenuhi ketentuan 6.14.2.2 dan 6.14.2.3, kecuali bila melalui analisis yang memenuhi 6.13.5 dapat dibuktikan bahwa tulangan tersebut tidak dibutuhkan.

6.14.2.2 Dua batang tulangan horisontal berdiameter paling sedikit 13 mm (D-13) harus dipasang paralel terhadap tepi pelat. Tulangan-tulangan tersebut boleh menempel pada sisi muka perangkat angkut dan harus berada dalam jarak $\frac{1}{2} h$ di depan masing-masing perangkat angkut. Tulangan tersebut harus diperpanjang paling sedikit 150 mm ke masing-masing tepi luar dari setiap perangkat angkut.

6.14.2.3 Jika spasi sumbu-ke-sumbu perangkat angkut berjarak 300 mm atau kurang, maka perangkat angkut tersebut harus diperlakukan sebagai suatu grup. Untuk setiap grup yang terdiri dari enam perangkat angkut atau lebih, harus dipasang sengkang berbentuk peniti atau tertutup dengan diameter minimal 10 mm (D-10) sebanyak $(n+1)$, dimana n adalah jumlah perangkat angkut terpasang. Satu buah batang peniti atau sengkang harus ditempatkan di antara masing-masing perangkat angkut dan satu buah dipasang pada masing-masing sisi grup angkut. Batang peniti atau sengkang harus ditempatkan dengan kaki-kaki yang memanjang ke dalam pelat lantai tegak lurus tepi pelat. Bagian tengah batang peniti atau sengkang harus ditempatkan tegak lurus terhadap bidang pelat dari $3h/8$ hingga $h/2$ di depan perangkat angkut.

6.14.2.4 Pemasangan perangkat angkur yang tidak sesuai dengan ketentuan 6.14.2.1 harus disertai dengan pemasangan tulangan minimum yang dihitung berdasarkan analisis rinci menurut 6.13.5.

6.14.3 Desain zona pengangkuran global untuk grup tendon *strand* tunggal pada balok dan gelagar

Desain zona pengangkuran global untuk grup tendon *strand* tunggal pada balok dan gelagar harus memenuhi persyaratan 6.13.3 sampai 6.13.5.

6.15 Desain zona pengangkuran untuk tendon *strand* majemuk

6.15.1 Desain zona pengangkuran lokal

Perangkat angkur *strand* majemuk dasar dan tulangan zona pengangkuran lokal harus memenuhi persyaratan dari AASHTO "Standard Specification for Highway Bridges", Division I, Article 9.21.7.2.2 hingga 9.21.7.2.4.

Perangkat angkur khusus harus memenuhi pengujian yang disyaratkan dalam AASHTO "Standard Specification for Highway Bridges", Division I, Article 9.21.7.3 dan dinyatakan dalam AASHTO "Standard Specification for Highway Bridges", Division II, Article 10.3.2.3.

6.15.2 Penggunaan perangkat angkur khusus

Bila digunakan perangkat angkur khusus, maka tulangan selimut tambahan harus dipasang di daerah pengangkuran yang bersangkutan, sebagai tambahan terhadap tulangan pengekang yang disyaratkan untuk perangkat angkur yang digunakan. Konfigurasi tulangan selimut yang dipasang harus serupa, dan rasio volume paling tidak harus ekuivalen dengan yang digunakan pada uji penerimaan kualifikasi dari perangkat angkur tersebut.

6.15.3 Desain zona pengangkuran global

Desain zona pengangkuran global untuk tendon *strand* majemuk harus memenuhi persyaratan 6.13.3 sampai 6.13.5.

6.16 Perlindungan terhadap korosi untuk tendon tanpa lekatan

6.16.1 Baja prategang tanpa lekatan harus dibungkus dengan pelapis. Baja prategang harus dilapisi secara penuh dan pelapis di sekeliling baja prategang diisi dengan material yang sesuai untuk mencegah korosi.

6.16.2 Pelapis harus kedap air dan menerus di keseluruhan panjang bagian tendon tanpa lekatan.

6.16.3 Untuk penerapan di lingkungan korosif, pelapis harus tersambung dengan seluruh alat penegangan, angkur menengah, dan angkur terjepit secara kedap air.

6.16.4 Tendon *strand* tunggal tanpa lekatan harus dilindungi terhadap korosi sesuai dengan ACI 423.7.

6.17 Selongsong untuk sistem pasca-tarik

6.17.1 Selongsong untuk tendon yang tergrout harus kedap mortar dan tidak reaktif dengan beton, baja prategang, grout, dan pencegah korosi.

6.17.2 Selongsong untuk tendon kawat tunggal, *strand* tunggal, atau batang tulangan tunggal yang tergrout harus memiliki diameter dalam paling sedikit 6 mm lebih besar dari diameter baja prategang.

6.17.3 Selongsong untuk tendon kawat majemuk, *strand* majemuk, atau batang tulangan majemuk yang tergrout harus memiliki luas penampang melintang dalam paling sedikit dua kali luas penampang melintang dari baja prategang.

6.17.4 Selongsong harus dipertahankan bebas dari kantong air jika komponen struktur yang akan digrout terekspos terhadap suhu beku sebelum digrout.

6.18 Grout untuk tendon dengan lekatan

6.18.1 Grout harus terdiri dari semen Portland dan air; atau semen Portland, pasir, dan air.

6.18.2 Material untuk grout harus memenuhi persyaratan 6.18.2.1 hingga 6.18.2.4.

6.18.2.1 Semen Portland harus memenuhi 6.18.2.1.1.

6.18.2.1.1 Material semen titious

6.18.2.1.1.1 Material semen titious harus memenuhi spesifikasi relevan seperti berikut:

- (a) Semen Portland: ASTM C150;
- (b) Semen hidrolik blended: ASTM C595 tidak termasuk Type IS (≥ 70), di mana tidak direncanakan sebagai bagian semen utama dari beton struktural;
- (c) Semen hidrolik ekspansif: ASTM C845;
- (d) Semen hidrolik: ASTM C1157;
- (e) Abu terbang dan Pozzolan alami: ASTM C618;
- (f) Terak tanur tinggi: ASTM C989;
- (g) Silica fume: ASTM C1240.

6.18.2.1.1.2 Material semen titious yang digunakan dalam pekerjaan harus sesuai dengan yang digunakan sebagai dasar dalam pemilihan proporsi campuran beton. Lihat 5.2 ACI 318-08

6.18.2.2 Air harus memenuhi persyaratan 6.18.2.2.1 dan 6.18.2.2.2 berikut ini.

6.18.2.2.1 Air yang digunakan dalam pencampuran beton harus memenuhi ASTM C1602M.

6.18.2.2.2 Air pencampur untuk beton prategang atau untuk beton yang akan berisi aluminium tertanam, termasuk bagian air yang timbul dalam bentuk lembab bebas dalam agregat, tidak boleh berisi ion klorida yang mengganggu. Lihat 4.3.1 ACI 318-08

6.18.2.3 Pasir yang digunakan harus memenuhi ASTM C144, kecuali gradasinya boleh dimodifikasi untuk memudahkan pengerjaan.

6.18.2.4 Bahan tambahan harus sesuai dengan 6.18.2.4.1 hingga 6.18.2.4.5 dan boleh digunakan setelah diketahui tidak memiliki pengaruh berbahaya terhadap grout, baja atau beton. Calcium chloride tidak boleh digunakan.

6.18.2.4.1 Bahan tambahan untuk mereduksi air dan memodifikasi waktu pengikatan (*settingtime*) harus memenuhi ASTM C494M. Bahan tambahan yang digunakan untuk produksi pengaliran beton harus sesuai dengan ASTM C1017M.

6.18.2.4.2 Bahan tambahan penggelembung udara harus sesuai dengan ASTM C260.

6.18.2.4.3 Bahan tambahan yang digunakan pada beton yang tidak sesuai dengan 6.18.2.4.1 dan 6.18.2.4.2 harus mendapatkan persetujuan terlebih dahulu dari pihak yang berwenang.

6.18.2.4.4 Kalsium klorida atau bahan tambahan yang mengandung klorida yang bersumber lain dari pada yang diakibatkan ketidakbersihan campuran bahan tambahan, tidak boleh digunakan pada beton prategang, pada beton yang berisi aluminium tertanam, atau pada beton cor di tempat cetakan baja galvanis. Lihat 4.3.1 ACI 318-08 dan 6.3.2 ACI 318-08.

6.18.2.4.5 Bahan tambahan yang digunakan pada beton yang mengandung semen ekspansif menurut ASTM C845 harus kompatibel dengan semen dan produk tanpa efek mengganggu.

6.18.3 Pemilihan proporsi grout

6.18.3.1 Proporsi bahan untuk grout harus didasarkan pada salah satu dari (a) atau (b) berikut ini:

- (a) Hasil pengujian atas grout yang masih segar dan yang sudah mengeras yang dilaksanakan sebelum pekerjaan grout dimulai; atau
- (b) Pengalaman yang terdokumentasi sebelumnya dengan bahan dan peralatan yang serupa dan pada kondisi lapangan yang sebanding.

6.18.3.2 Semen yang digunakan dalam pekerjaan harus sesuai dengan jenis semen yang digunakan dalam penentuan proporsi grout.

6.18.3.3 Kandungan air harus merupakan nilai minimum yang cukup untuk menjamin tercapainya pelaksanaan pemompaan grout dengan baik, tetapi nilai rasio air-semen tidak boleh melampaui 0,45 dengan berat.

6.18.3.4 Air tidak boleh ditambahkan untuk meningkatkan kemampuan alir grout yang telah menurun akibat penundaan pelaksanaan *grouting*.

6.18.4 Pencampuran dan pemompaan grout

6.18.4.1 Grout harus dicampur dalam peralatan yang mampu untuk mencampur secara mekanis dan beragitasi secara menerus sehingga akan menghasilkan material yang terdistribusi seragam. Selanjutnya, adukan dilewatkan melalui saringan, dan kemudian dipompa sedemikian hingga akan mengisi selongsong secara penuh.

6.18.4.2 Suhu komponen struktur pada saat pelaksanaan grout harus di atas 2 °C dan harus dipertahankan agar tetap di atas 2 °C hingga kubus grout ukuran 50 mm yang dirawat di lapangan mencapai kekuatan tekan minimum sebesar 5,5 MPa.

6.16.4.3 Selama pencampuran dan pemompaan, suhu grout tidak boleh lebih tinggi dari 32 °C.

6.19 Perlindungan untuk baja prategang

Pelaksanaan pembakaran atau pengelasan di sekitar baja prategang harus dilakukan dengan hati-hati, agar baja prategang tersebut tidak terpengaruh oleh suhu berlebihan, percikan las, atau hantaran arus listrik tanah.

6.20 Pemberian dan pengukuran gaya prategang

6.20.1 Gaya prategang harus ditentukan dengan kedua syarat (a) dan (b) berikut ini:

- (a) Pengukuran elongasi baja. Elongasi harus ditentukan dari kurva rata-rata beban-elongasi untuk baja prategang yang digunakan;
- (b) Pengamatan dari gaya *jacking* pada alat ukur atau sel beban yang telah dikalibrasi atau dengan menggunakan dynamometer yang sudah dikalibrasi.

Perbedaan dalam hasil penentuan gaya antara (a) dan (b) yang melebihi 5 % untuk elemen pratarik atau 7 % untuk konstruksi pasca-tarik harus diteliti dan dikoreksi.

6.20.2 Bila penyaluran gaya dari kepala angkur pada sistem pratarik ke beton dicapai melalui pemotongan tendon prategang dengan api, maka titik dan urutan pemotongannya harus ditentukan sebelumnya untuk menghindari terjadinya tegangan sementara yang tidak diinginkan.

6.20.3 Pada sistem pratarik, *strand* panjang yang menonjol diluar harus dipotong di dekat komponen struktur untuk memperkecil pengaruh kejutan pada beton.

6.20.4 Kehilangan gaya prategang total akibat tidak digantinya baja prategang yang rusak tidak boleh melebihi 2 persen dari gaya prategang total.

6.21 Angkur dan penyambung pasca-tarik

6.21.1 Bila diuji dalam kondisi tanpa lekatan, angkur dan penyambung (coupler) untuk tendon dengan lekatan dan tanpa lekatan harus mampu mengembangkan paling sedikit 95 % dari f_{pu} , tanpa melebihi batas set yang telah diantisipasi. Untuk tendon dengan lekatan, angkur dan penyambung (*coupler*) harus ditempatkan sedemikian hingga 100 % dari f_{pu} harus dikembangkan pada penampang kritis setelah baja prategang melekat pada komponen struktur.

6.21.2 Penyambung (coupler) harus ditempatkan pada daerah yang disetujui oleh perencana profesional yang bersertifikat dan ditempatkan pada perumahan yang cukup panjang sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan yang diperlukan.

6.21.3 Pada konstruksi tanpa lekatan yang mengalami beban berulang, perlu diberikan perhatian yang khusus pada kemungkinan terjadinya fatik dalam angkur dan penyambung (coupler).

6.21.4 Angkur, penyambung (coupler) dan penutup akhir (*endfitting*) harus dilindungi secara permanen terhadap korosi.

6.22 Sistem pasca-tarik luar

6.22.1 Tendon pasca-tarik boleh dipasang di luar penampang komponen struktur beton. Metode desain kekuatan dan kemampuan layan dari standar ini harus dipergunakan untuk mengevaluasi pengaruh gaya tendon eksternal pada struktur beton.

6.22.2 Tendon eksternal harus diperlakukan sebagai tendon tanpa lekatan pada saat perhitungan kekuatan lentur, kecuali jika diberikan suatu perlakuan untuk melekatkan tendon eksternal tersebut secara efektif pada penampang beton di keseluruhan panjangnya.

6.22.3 Tendon eksternal harus dihubungkan pada komponen struktur beton sedemikian hingga eksentrisitas yang diinginkan antara tendon dan titik berat penampang dapat dipertahankan sepanjang keseluruhan rentang dari lendutan komponen struktur yang telah diantisipasi.

6.22.4 Daerah tendon eksternal dan pengangkuran tendon harus dilindungi dari korosi, dan detail metode perlindungan harus diperlihatkan dalam gambar atau pada spesifikasi proyek.

7 Struktur Penahan Gempa

7.1 Persyaratan umum

7.1.1 Ruang lingkup

7.1.1.1 Pasal ini memuat ketentuan khusus untuk perancangan dan pelaksanaan komponen struktur beton bertulang dari suatu struktur, untuk mana gaya desain, terkait gerakan gempa, telah ditentukan berdasarkan disipasi energi pada rentang nonlinier dari respon struktur tersebut.

7.1.1.2 Semua struktur harus digolongkan ke dalam kategori desain seismik, KDS sesuai dengan 1.1.9.1.

7.1.1.3 Semua komponen harus memenuhi persyaratan dalam Pasal 1 hingga Pasal 19 ACI 318-08 dan Pasal 22 ACI 318-08. Struktur yang digolongkan kepada KDS B, C, D, E atau F juga harus memenuhi persyaratan 7.1.1.4 hingga 7.1.1.8, bilamana dapat diterapkan.

7.1.1.4 Struktur yang digolongkan kepada KDS B harus memenuhi persyaratan dalam 7.1.2.

7.1.1.5 Struktur yang digolongkan kepada KDS C harus memenuhi persyaratan dalam 7.1.2 dan 7.1.8.

7.1.1.6 Struktur yang digolongkan kepada KDS D, E atau F harus memenuhi persyaratan dalam 7.1.2 sampai 7.1.8, dan 7.11 hingga 7.13.

7.1.1.7 Sistem struktur yang digolongkan sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa harus dibatasi kepada golongan yang secara legal diadopsi oleh peraturan bangunan gedung umum dalam mana standar ini merupakan sebagian dari padanya, atau ditentukan oleh pejabat yang berwenang pada daerah yang tidak memiliki peraturan bangunan gedung. Kecuali untuk KDS A di mana Pasal 7 tidak berlaku, ketentuan berikut harus dipenuhi untuk masing-masing sistem struktur yang digolongkan sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa, tanpa memperhatikan KDS:

a) Portal biasa harus memenuhi 7.2.

- b) Dinding struktural beton bertulang biasa tidak harus memenuhi bagian manapun dari Pasal 7.
- c) Portal menengah harus memenuhi 7.3.
- d) Dinding pracetak menengah harus memenuhi 7.4.
- e) Portal khusus harus memenuhi 7.5 hingga 7.8.
- f) Dinding struktural khusus harus memenuhi 7.9.
- g) Dinding struktural beton pracetak khusus harus memenuhi 7.10.

Semua portal khusus dan dinding struktural khusus juga harus memenuhi 7.1.3 hingga 7.1.7.

7.1.1.8 Sistem struktur beton bertulang yang tidak memenuhi persyaratan pasal ini, dapat diperkenankan asalkan dengan pembuktian eksperimental dan analisis dapat ditunjukkan bahwa sistem yang diusulkan memiliki kekuatan dan ketegaran yang sama atau melebihi sistem struktur beton bertulang monolit yang setara serta yang memenuhi persyaratan pasal ini.

7.1.2 Analisis dan proporsionalisasi komponen struktur

7.1.2.1 Interaksi dari semua komponen struktural dan non-struktural yang mempengaruhi respons linier dan non-linier struktur terhadap gerakan gempa, harus ditinjau dalam analisis.

7.1.2.2 Komponen struktur kaku yang bukan merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa boleh digunakan asalkan pengaruhnya atas respons sistem struktur ditinjau dan diperhitungkan dalam perancangan struktur. Konsekuensi keruntuhan dari komponen struktur dan non-struktural yang bukan merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa juga harus diperhitungkan.

7.1.2.3 Komponen struktur yang diteruskan di bawah dasar struktur yang disyaratkan untuk menyalurkan gaya akibat gempa ke fondasi harus memenuhi persyaratan Pasal 7 yang konsisten dengan sistem penahan gaya gempa di atas dasar struktur.

7.1.3 Faktor reduksi kekuatan

Untuk struktur yang mengandalkan dinding struktural pracetak menengah dalam KDS D, E, F, portal khusus atau dinding struktural khusus yang memikul pengaruh gempa, E , ϕ harus dimodifikasi sesuai dengan 7.1.3.1 hingga 7.1.3.3 berikut ini.

7.1.3.1 Untuk komponen struktur yang didesain memikul E , ϕ untuk geser diambil 0,60 jika kekuatan geser nominal komponen struktur kurang dari geser yang berkaitan dengan pengembangan kekuatan lentur nominal komponen struktur. Kekuatan lentur nominal harus ditentukan dengan menggunakan beban aksial terfaktor paling kritis dan menyertakan E .

7.1.3.2 Untuk diafragma, ϕ untuk geser tidak boleh melampaui nilai minimum ϕ untuk geser yang digunakan untuk komponen vertikal sistem pemikul gaya gempa primer.

7.1.3.3 Untuk joint dan balok kopel dengan perkuatan diagonal, ϕ untuk geser diambil sebesar 0,85.

7.1.4 Beton dalam portal khusus dan dinding struktural khusus

7.1.4.1 Persyaratan 7.1.4 berlaku kepada portal khusus, dinding struktural khusus dan balok kopel.

7.1.4.2 Kekuatan tekan beton yang disyaratkan f'_c tidak boleh kurang dari 21 MPa.

7.1.4.3 Kekuatan tekan beton agregat ringan yang disyaratkan, f'_c tidak boleh melampaui 35 MPa, kecuali jika dengan eksperimental dapat dibuktikan bahwa komponen struktural yang terbuat dari beton ringan mempunyai kekuatan dan ketegaran yang sama atau melebihi komponen struktur setara yang dibuat dari beton normal dengan kekuatan yang sama. Modifikasi faktor λ untuk beton ringan dalam pasal ini harus sesuai dengan 5.5.3.4.1.4 kecuali secara khusus dinyatakan lain.

7.1.5 Penulangan portal khusus dan dinding struktural khusus

7.1.5.1 Persyaratan 7.1.5 berlaku terhadap portal khusus, dinding struktural khusus dan balok kopel.

7.1.5.2 Tulangan ulir yang menahan gaya lentur dan aksial yang disebabkan induksi gempa dalam komponen portal, dinding struktural dan balok kopel harus sesuai dengan ASTM A706. Tulangan ASTM A615 mutu 280 MPa dan 420 MPa boleh digunakan pada komponen struktur jika:

(a) Kekuatan leleh aktual berdasarkan pengujian pabrik tidak melampaui f_y sebesar 125 MPa;

dan

(b) Rasio kekuatan tarik aktual terhadap kekuatan leleh aktual tidak kurang dari 1,25.

7.1.5.3 Baja prategang yang menahan gaya lentur dan aksial yang disebabkan induksi gempa dalam komponen portal dan dalam dinding struktural pracetak harus memenuhi ASTM A416M atau A722M.

7.1.5.4 Nilai f_{yt} yang digunakan untuk menghitung jumlah tulangan kekangan tidak boleh melampaui 700 MPa.

7.1.5.5 Nilai f_y dan f_{yt} yang digunakan dalam desain tulangan geser tidak boleh melebihi 420 MPa, kecuali nilai tersebut tidak melebihi 550 MPa untuk tulangan kawat ulir yang dilas.

7.1.6 Sambungan mekanis pada portal khusus dan dinding struktural khusus

7.1.6.1 Sambungan mekanis harus diklasifikasikan sebagai sambungan mekanis Tipe 1 atau Tipe 2, sebagai berikut:

a) Sambungan mekanis Tipe 1 harus menurut 7.1.6.1.1;

b) Sambungan mekanis Tipe 2 harus menurut 7.1.6.1.1 dan harus mampu mengembangkan kekuatan tarik yang disyaratkan dari tulangan yang disambung.

7.1.6.1.1 Sambungan mekanis penuh harus mengembangkan tegangan tarik atau tekan, seperti disyaratkan, paling sedikit $1,25f_y$ dari batang tulangan.

7.1.6.2 Sambungan mekanis Tipe 1 tidak boleh ditempatkan pada daerah sejarak dua kali tinggi komponen struktur terhitung dari muka kolom atau balok portal khusus, atau dari penampang di mana pelelehan tulangan potensial terjadi akibat perpindahan lateral inelastis. Sambungan mekanis Tipe 2 boleh ditempatkan di mana saja.

7.1.7 Sambungan las pada portal khusus dan dinding struktural khusus

7.1.7.1 Tulangan penahan gaya yang disebabkan induksi gempa yang disambung dengan las harus sesuai 7.1.7.1.1 dan tidak boleh ditempatkan pada daerah sejarak dua kali tinggi komponen struktur terhitung dari muka kolom atau balok portal khusus, atau dari penampang di mana pelelehan tulangan potensial terjadi akibat perpindahan lateral inelastis.

7.1.7.1.1 Sambungan dilas penuh harus mengembangkan tegangan paling sedikit $1,25f_y$ batang tulangan.

7.1.7.2 Tidak diijinkan mengelas tulangan sengkang, sengkang pengikat, tulangan sisipan, atau elemen lain yang serupa kepada tulangan longitudinal yang diperlukan dalam desain.

7.1.8 Pengangkuran ke dalam beton

Angkur yang menahan gaya-gaya yang disebabkan induksi gempa dalam struktur yang digolongkan kepada KDS C, D, E atau F harus memenuhi persyaratan D.3.3 ACI 318-08.

7.2 Portal biasa

7.2.1 Ruang lingkup

Persyaratan 7.2 berlaku untuk portal biasa yang membentuk bagian dari sistem penahan gaya gempa.

7.2.2 Balok harus memiliki paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang muka atas dan muka bawah balok. Batang-batang tulangan ini harus disalurkan pada muka tumpuan.

7.2.3 Kolom yang memiliki tinggi bersih yang kurang atau sama dengan lima kali dimensi c_1 harus didesain terhadap geser menurut 7.3.3.

7.3 Portal momen menengah

7.3.1 Ruang lingkup

Persyaratan 7.3 berlaku untuk portal momen menengah yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa.

7.3.2 Detail penulangan dalam komponen portal harus memenuhi 7.3.4 jika beban tekan aksial terfaktor, P_u , untuk komponen struktur tidak melampaui $A_g f'_c / 10$. Jika P_u lebih besar, detail penulangan portal harus memenuhi 7.3.5. Detail penulangan sistem pelat dua arah tanpa balok yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa pada bentang yang menahan momen akibat E harus memenuhi 7.3.6.

7.3.3 Kapasitas geser ϕV_n balok dan kolom yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari nilai terkecil dari (a) dan (b):

- (a) Jumlah geser yang berkaitan dengan pengembangan kekuatan momen nominal komponen struktur pada masing-masing ujung terkekang dari bentang bersih dan geser yang dihitung berdasarkan beban gravitasi terfaktor;

- (b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang mencakup E , dengan E yang diasumsikan dua kali dari pada yang secara legal diadopsi dalam tata cara perancangan penahan gempa.

7.3.4 Balok

7.3.4.1 Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Tidak boleh ada kekuatan momen negatif ataupun positif di sepanjang bentang balok yang kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka joint.

7.3.4.2 Pada kedua ujung balok, harus disediakan tulangan melingkar pada daerah yang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur pendukung ke arah tengah bentang. Tulangan melingkar pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur pendukung. Spasi dari tulangan melingkar tidak boleh melebihi nilai terkecil dari antara:

- (a) $d/4$;
- (b) delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkup;
- (c) 24 kali diameter tulangan melingkar;
- (d) 300 mm.

7.3.4.3 Sengkang harus dipasang dengan spasi yang tidak melebihi $d/2$ di sepanjang balok.

7.3.5 Kolom

7.3.5.1 Kolom-kolom harus ditulangi secara spiral menurut 7.10.4 ACI 318-08 atau memenuhi 7.3.5.2 sampai 7.3.5.4. Pasal 7.3.5.5 berlaku untuk semua kolom dan 7.3.5.6 berlaku untuk semua kolom yang memikul komponen struktur kaku yang tidak menerus.

7.3.5.2 Pada kedua ujung kolom, tulangan melingkar harus dipasang dengan spasi s_o di sepanjang ℓ_o diukur dari muka joint. Spasi s_o tidak boleh melampaui nilai terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):

- (a) delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
- (b) 24 kali diameter tulangan melingkar;
- (c) setengah dari dimensi terkecil penampang kolom;
- (d) 300 mm.

Panjang ℓ_o tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari (e), (f), dan (g):

- (e) seperenam bentang bersih kolom;
- (f) dimensi maksimum penampang kolom; dan
- (g) 450 mm.

7.3.5.3 Tulangan melingkar pertama harus dipasang tidak melebihi $s_o/2$ dari muka joint.

7.3.5.4 Di luar panjang ℓ_o , spasi tulangan transversal harus memenuhi 7.10 ACI 318-08 dan 7.3.5.4.1.

7.3.5.4.1 Spasi tulangan geser yang ditempatkan tegak lurus sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ dalam komponen struktur non-prategang atau $0,75h$ dalam komponen struktur prategang, maupun 600 mm.

7.3.5.5 Penulangan transversal joint harus memenuhi 7.3.5.5.1 dan 7.3.5.5.2.

7.3.5.5.1 Bila beban gravitasi, angin, gempa, atau gaya lateral lainnya menyebabkan penyaluran momen pada sambungan elemen yang merangka ke kolom, geser hasil penyaluran momen harus diperhitungkan dalam desain tulangan lateral pada kolom.

7.3.5.5.2 Kecuali untuk sambungan yang bukan merupakan bagian dari sistem penahan beban gempa utama yang ditahan pada empat sisi dengan balok atau pelat dengan kedalaman kurang lebih sama, maka sambungan harus memiliki tulangan lateral tidak kurang dari yang disyaratkan oleh Persamaan (8) pada kolom untuk kedalaman yang tidak kurang dari kedalaman elemen tertinggi yang merangka ke kolom. Lihat juga 7.9 ACI 318-08.

7.3.5.6 Kolom pendukung reaksi dari komponen struktur kaku tidak menerus seperti dinding, harus diberi tulangan transversal pada spasi, s_o , sebagai mana diatur oleh 7.3.5.2 di sepanjang seluruh ketinggian antara tingkat pada mana terjadi diskontinuitas, jika bagian dari gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur akibat pengaruh gempa melampaui $A_g f'_c/10$. Jika gaya-gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan-lebih dari elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $A_g f'_c/10$ harus dinaikkan menjadi $A_g f'_c/4$. Tulangan transversal ini harus diteruskan ke atas dan ke bawah kolom sebagaimana disyaratkan oleh 7.6.4.6 (b).

7.3.6 Pelat dua arah tanpa balok

7.3.6.1 Momen pelat terfaktor pada tumpuan termasuk pengaruh gempa, E , harus ditentukan untuk kombinasi pembebanan seperti pada Persamaan (9-5) dan (9-7) ACI 318-08. Penulangan yang disediakan untuk menahan M_{slab} harus dipasang di dalam lajur kolom seperti didefinisikan dalam 13.2.1 ACI 318-08.

7.3.6.2 Penulangan yang dipasang dalam lebar efektif yang disyaratkan dalam 13.5.3.2 ACI 318-08 harus diproporsikan untuk menahan $\gamma_f M_{slab}$. Lebar pelat efektif untuk sambungan luar dan sudut tidak boleh diambil melampaui muka kolom sejarak melebihi c_t diukur tegak lurus terhadap bentang pelat.

7.3.6.3 Pada tumpuan, tidak kurang setengah dari penulangan lajur kolom harus dipasang dalam lebar pelat efektif seperti diberikan dalam 13.5.3.2 ACI 318-08.

7.3.6.4 Tidak kurang seperempat dari tulangan atas pada daerah tumpuan dalam lajur kolom harus dipasang secara menerus di sepanjang bentang.

7.3.6.5 Tulangan bawah yang menerus dalam lajur kolom tidak boleh kurang dari sepertiga tulangan atas pada tumpuan lajur kolom.

7.3.6.6 Tidak kurang setengah dari semua penulangan lajur tengah bawah dan semua penulangan lajur kolom bawah pada tengah bentang, harus dipasang menerus dan harus mengembangkan f_y pada muka tumpuan seperti didefinisikan dalam 7.3.6.6.1.

7.3.6.6.1 Bentang bersih ℓ_n harus diperpanjang dari muka ke muka kolom, kapital, konsol, atau dinding. Nilai ℓ_n yang digunakan dalam Persamaan (27)

$$M_o = \frac{q_u \ell_2 \ell_n^2}{8} \quad (27)$$

tetapi tidak boleh kurang dari $0,65 \ell_1$. Tumpuan berbentuk poligon reguler atau lingkaran harus diperlakukan seperti tumpuan bujur sangkar dengan luas yang sama.

7.3.6.7 Pada ujung terputus pelat, semua tulangan atas dan bawah pada tumpuan harus disalurkan pada muka tumpuan seperti diatur dalam 7.3.6.6.1.

7.3.6.8 Pada penampang kritis kolom seperti didefinisikan dalam 11.11.1.2 ACI 318-08, geser dua arah akibat beban gravitasi terfaktor tidak boleh melampaui $0,4\phi V_c$, di mana V_c harus dihitung sesuai 11.11.2.1 ACI 318-08 untuk pelat non-prategang dan sesuai 11.11.2.2 ACI 318-08 untuk pelat prategang. Diperbolehkan untuk mengabaikan persyaratan ini jika perancangan pelat memenuhi persyaratan 7.13.6.

7.4 Dinding struktural pracetak menengah

7.4.1 Ruang lingkup

Persyaratan 7.4 berlaku untuk dinding struktural pracetak menengah sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa.

7.4.2 Pada sambungan antara panel-panel dinding atau antara panel dinding dan fondasi, leleh harus dibatasi hanya terjadi pada elemen baja atau tulangan.

7.4.3 Elemen sambungan yang tidak didesain mencapai leleh harus mengembangkan paling sedikit $1,5 S_y$.

7.5 Komponen struktur lentur portal khusus

7.5.1 Ruang lingkup

Persyaratan 7.5 berlaku bagi komponen struktur portal khusus yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa dan terutama dimaksudkan menahan lentur. Komponen-komponen portal ini juga harus memenuhi persyaratan 7.5.1.1 sampai 7.5.1.4.

7.5.1.1 Gaya tekan aksial terfaktor P_u pada komponen struktur tidak boleh melampaui $A_g f'_c / 10$.

7.5.1.2 Bentang bersih ℓ_n komponen tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektif.

7.5.1.3 Lebar b_w komponen struktur tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara $0,3h$ dan 250 mm.

7.5.1.4 Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh melampaui lebar komponen struktur pendukung, c_2 , ditambah jarak pada masing-masing sisi komponen struktur pendukung sebesar nilai terkecil dari (a) dan (b) :

- (a) Lebar komponen struktur pendukung, c_2 , dan
- (b) 0,75 kali dimensi total komponen struktur pendukung, c_1 .

7.5.2 Tulangan longitudinal

7.5.2.1 Pada penampang suatu komponen struktur lentur, kecuali sebagai mana diatur dalam 10.5.3 ACI 318-08, baik untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari yang diberikan oleh Persamaan (25) tetapi juga tidak boleh kurang dari $1,4b_w d/f_y$, dan rasio penulangan ρ tidak boleh melampaui 0,025. Paling tidak disediakan dua tulangan secara menerus di atas dan bawah.

7.5.2.2 Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang tersedia pada muka joint. Di penampang manapun sepanjang balok, tidak boleh ada kekuatan momen negatif maupun kekuatan momen positif yang kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang tersedia pada muka joint.

7.5.2.3 Sambungan lewatan tulangan lentur diperkenankan hanya jika tulangan melingkar atau spiral disediakan di sepanjang lewatan. Spasi dari pada tulangan transversal yang melingkup batang tulangan sambungan lewatan tidak boleh melampaui nilai terkecil antara $d/4$ dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan:

- (a) Di dalam joint;
- (b) Pada jarak dua kali tinggi komponen struktur dari muka joint; dan
- (c) Di mana analisis menunjukkan bahwa leleh lentur disebabkan oleh perpindahan lateral inelastis portal.

7.5.2.4 Sambungan mekanis harus memenuhi persyaratan 7.1.6 dan sambungan las harus memenuhi persyaratan 7.1.7.

7.5.2.5 Jika digunakan, prategang harus memenuhi (a) hingga (d) berikut ini, kecuali jika digunakan dalam portal khusus sebagaimana diijinkan oleh 7.8.3:

- (a) Prategang rata-rata f_{pc} yang dihitung untuk suatu luas yang sama dengan luas yang diberikan oleh dimensi terkecil dikali dimensi penampang yang tegak lurus, tidak boleh melampaui nilai terkecil dari 3,5 MPa dan $f'_c/10$.
- (b) Baja prategang harus tanpa lekatan dalam daerah potensil sendi plastis, dan regangan terhitung dalam baja prategang yang berkaitan dengan perpindahan desain harus kurang dari 1 persen.
- (c) Baja prategang tidak boleh menyumbang lebih dari pada seperempat kekuatan lentur positif atau negatif pada penampang kritis di daerah sendi plastis, dan harus diangkurkan pada atau melewati muka eksterior joint.
- (d) Pengangkuran tendon pasca-tarik yang menahan gaya-gaya akibat induksi gempa harus mampu memperkenankan tendon untuk menahan 50 siklus pembebanan, yang dibatasi oleh 40 dan 85 persen dari kekuatan tarik baja prategang yang disyaratkan.

7.5.3 Tulangan transversal

7.5.3.1 Tulangan melingkar harus disediakan dalam daerah komponen portal:

- (a) Sepanjang bentang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka komponen struktur pendukung ke arah tengah bentang, pada kedua ujung komponen struktur lentur;
- (b) Sepanjang bentang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi suatu penampang tempat terjadinya leleh lentur pada sambungan dengan perpindahan lateral inelastis portal.

7.5.3.2 Tulangan melingkar pertama harus ditempatkan kurang dari 50 mm dari muka komponen struktur pendukung. Spasi tulangan melingkar tidak boleh melebihi nilai terkecil dari (a), (b), (c) dan (d):

- (a) $d/4$;
- (b) delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil;
- (c) 24 kali diameter tulangan melingkar; dan
- (d) 300 mm.

7.5.3.3 Jika tulangan melingkar diperlukan, tulangan longitudinal pada perimeter harus diberi dukungan lateral sesuai 7.10.5.3 ACI 318-08.

7.5.3.4 Jika tulangan melingkar tidak diperlukan, sengkang dengan kait seismik pada kedua ujung harus ditempatkan pada jarak yang tidak melebihi $d/2$ di sepanjang komponen struktur.

7.5.3.5 Sengkang atau pengikat yang diperlukan menahan geser harus dibuat sebagai tulangan melingkar tertutup di sepanjang komponen struktur dalam 7.5.3.1.

7.5.3.6 Tulangan melingkar dalam komponen struktur lentur diijinkan terbuat dari dua bagian tulangan: suatu sengkang dengan kait seismik pada kedua ujung dan ditutup dengan ikatan silang. Ikatan silang yang berturutan serta yang digandeng dengan batang tulangan longitudinal yang sama harus memiliki kait siku pada sisi yang bertentangan dari komponen struktur lentur. Jika batang tulangan longitudinal yang diberi ikatan silang, dikekang oleh pelat pada hanya satu sisi dari komponen portal lentur, kait siku ikatan silang harus ditempatkan pada sisi tersebut.

7.5.4 Persyaratan kekuatan geser

7.5.4.1 Gaya desain

Gaya geser desain V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya-gaya statis pada bagian komponen struktur di antara muka joint. Diasumsikan bahwa momen yang berbeda tanda dan berkaitan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentang.

7.5.4.2 Tulangan transversal

Tulangan transversal di sepanjang daerah yang dinyatakan dalam 7.5.3.1 harus didesain memikul geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ jika terjadi kedua kasus a) dan b) berikut:

- Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai dengan 7.5.4.1 mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam sepanjang bentang-bentang tersebut;
- Gaya tekan aksial terfaktor P_u , termasuk pengaruh gempa, kurang dari $A_g f'_c / 20$.

7.6 Komponen struktur portal khusus yang menahan beban lentur dan aksial

7.6.1 Ruang lingkup

Persyaratan pasal ini berlaku untuk komponen struktur khusus yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial terfaktor P_u di bawah kombinasi pembebanan dengan nilai yang melampaui $A_g f'_c / 10$. Komponen-komponen struktur portal ini juga harus memenuhi persyaratan dalam 7.6.1.1 dan 7.6.1.2.

7.6.1.1 Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometrik, tidak boleh kurang dari 300 mm.

7.6.1.2 Rasio dari dimensi penampang terpendek terhadap dimensi di arah tegak lurus terhadapnya, tidak boleh kurang dari 0,4.

7.6.2 Kekuatan lentur minimum kolom

7.6.2.1 Kolom harus memenuhi persyaratan 7.6.2.2 atau 7.6.2.3.

7.6.2.2 Kekuatan lentur kolom harus memenuhi Persamaan (28)

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (28)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang terakit ke dalam joint, dihitung pada muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah dari gaya-gaya lateral yang ditinjau, sehingga menghasilkan kekuatan lentur terkecil.

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok-balok yang terakit ke dalam joint, dihitung pada muka joint. Pada konstruksi balok T di mana pelat berada pada keadaan tarik di bawah pengaruh momen-momen pada muka joint, penulangan pelat dalam lebar pelat efektif seperti didefinisikan dalam 8.12 ACI 318-08, harus diasumsikan menyumbang terhadap M_{nb} jika tulangan pelat disalurkan kepada penampang lentur kritis.

Kekuatan lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momen-momen kolom melawan momen-momen balok. Persamaan (28) harus dipenuhi untuk momen-momen balok yang bekerja di kedua arah dalam bidang vertikal portal yang ditinjau.

7.6.2.3 Jika ketentuan 7.6.2.2 tidak dipenuhi dalam suatu joint, maka kekuatan dan kekakuan lateral kolom yang terakit ke dalam joint harus diabaikan dalam penentuan kekuatan dan kekakuan struktur. Kolom-kolom ini harus memenuhi 7.13.

7.6.3 Tulangan longitudinal

7.6.3.1 Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh diambil kurang dari $0,01 A_g$ atau lebih dari $0,06 A_g$.

7.6.3.2 Sambungan mekanis harus memenuhi persyaratan 7.1.6 dan sambungan las memenuhi 7.1.7. Sambungan lewatan diijinkan hanya dalam setengah bentang dalam dari komponen struktur, harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik, dan harus dilingkupi dengan tulangan transversal sesuai 7.6.4.2 dan 7.6.4.3.

7.6.4 Tulangan transversal

7.6.4.1 Tulangan transversal yang diperlukan dalam 7.6.4.2 hingga 7.6.4.4 harus disediakan di sepanjang bentang ℓ_o dari masing-masing muka joint dan kedua sisi penampang di mana kemungkinan terjadi leleh lentur akibat perpindahan lateral inelastis portal. Panjang ℓ_o tidak boleh lebih kecil dari nilai terbesar antara (a), (b) dan (c) berikut:

- (a) Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang di mana leleh lentur kemungkinan terjadi;
- (b) Seperenam dari bentang bersih komponen struktur; dan
- (c) 450 mm.

7.6.4.2 Tulangan transversal harus disediakan dalam bentuk spiral tunggal atau overlap sesuai ketentuan 7.10.4 ACI 318-08, cincin lingkaran, atau cincin persegi dengan atau tanpa ikatan silang. Ikatan silang dengan ukuran batang yang sama atau kurang dari ukuran *hoop* dapat digunakan. Masing-masing ujung dari ikatan silang harus terkait dengan batang tulangan longitudinal. Ujung ikatan silang yang berturutan harus disaling-silang di sepanjang tulangan longitudinal. Spasi dari ikatan silang atau kaki tulangan melingkar rektilinear, h_x , tidak boleh melebihi 350 mm pada pusat.

7.6.4.3 Spasi tulangan transversal di sepanjang bentang ℓ_o komponen struktur tidak boleh melebihi nilai terkecil di antara (a), (b) dan (c) berikut ini:

- (a) Seperempat dari dimensi minimum komponen struktur;
- (b) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil; dan
- (c) s_o sebagaimana ditentukan Persamaan (29)

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (29)$$

Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm, dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

7.6.4.4 Jumlah tulangan transversal yang diperlukan dalam (a) atau (b) berikut ini harus disediakan, kecuali jika diperlukan jumlah yang lebih besar menurut 7.6.5.

- (a) Rasio volumetrik tulangan spiral atau *hoop* lingkaran, ρ_s , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh Persamaan (30)

$$\rho_s = 0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (30)$$

dan tidak boleh kurang dari yang ditentukan oleh Persamaan (31)

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (31)$$

- (b) Luas penampang total dari tulangan *hoop* persegi, A_{sh} , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh Persamaan (32) dan (33)

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \right] \quad (32)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \quad (33)$$

7.6.4.5 Di luar bentang ℓ_o yang dinyatakan oleh 7.6.4.1, kolom harus mencakup tulangan spiral atau *hoop* yang memenuhi 7.10 ACI 318-08 dengan spasi pusat-ke-pusat s yang tidak melebihi nilai terkecil antara enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil kolom dan 150 mm, kecuali jika disyaratkan tulangan transversal yang lebih besar oleh 7.6.3.2 atau 7.6.5.

7.6.4.6 Reaksi tumpuan kolom-kolom dari komponen struktur kaku yang tidak menerus, seperti dinding, harus memenuhi (a) dan (b):

- (a) Tulangan transversal yang diperlukan dalam 7.6.4.2 hingga 7.6.4.4 harus disediakan pada keseluruhan tinggi di semua level di bawah pemutusan jika gaya tekan aksial terfaktor dalam komponen-komponen struktur ini yang terkait dengan efek gempa, melebihi $A_g f'_c / 10$. Jika gaya-gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan-lebih dari elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $A_g f'_c / 10$ harus dinaikkan menjadi $A_g f'_c / 4$.
- (b) Tulangan transversal harus diteruskan ke dalam komponen struktur yang tidak menerus paling sedikit ℓ_d dari batang tulangan kolom longitudinal terbesar, di mana ℓ_d ditetapkan menurut 7.7.5. Jika ujung bawah kolom berhenti di atas dinding, tulangan transversal perlu harus diteruskan ke dalam dinding paling tidak sebesar ℓ_d dari batang longitudinal terbesar kolom pada titik pemutusan. Jika kolom berhenti di atas telapak atau fondasi rakit, tulangan transversal perlu harus diteruskan paling tidak 300 mm ke dalam telapak atau fondasi rakit.

7.6.4.7 Jika selimut beton di luar tulangan transversal pengekan seperti yang disyaratkan dalam 7.6.4.1, 7.6.4.5, dan 7.6.4.6 melampaui 100 mm, harus disediakan tulangan transversal tambahan. Selimut beton untuk tulangan transversal tambahan tidak boleh melebihi 100 mm, dan spasi tulangan transversal tambahan tidak boleh melebihi 300 mm.

7.6.5 Persyaratan kekuatan geser

7.6.5.1 Gaya desain

Gaya geser desain V_e harus ditentukan berdasarkan gaya maksimum yang dapat timbul pada muka joint masing-masing ujung komponen struktur. Gaya-gaya joint ini harus ditetapkan berdasarkan kekuatan momen maksimum yang mungkin, M_{pr} pada masing-masing ujung komponen struktur yang berkaitan dengan kisaran nilai beban aksial terfaktor, P_u yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu melebihi nilai yang ditentukan dari kekuatan joint berdasarkan M_{pr} dari komponen struktur transversal yang terakit kepada joint. Dalam kasus apapun, nilai V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang dihasilkan oleh analisis struktur.

7.6.5.2 Penulangan transversal

Tulangan transversal pada bentang sepanjang ℓ_o seperti yang dinyatakan dalam 7.6.4.1 harus diproporsikan menahan geser dengan asumsi $V_c = 0$ jika kedua kasus (a) dan (b) terjadi:

- (a) Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai dengan 7.6.5.1, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam daerah ℓ_o ;
- (b) Gaya tekan aksial terfaktor P_u yang mencakup pengaruh gempa, kurang dari $A_g f'_c / 20$.

7.7 Joint portal khusus

7.7.1 Ruang lingkup

Persyaratan 7.7 berlaku bagi joint balok-kolom portal khusus yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa.

7.7.2 Persyaratan umum

7.7.2.1 Gaya-gaya dalam tulangan longitudinal balok pada muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan dalam tulangan tarik lentur bernilai $1,25 f_y$.

7.7.2.2 Tulangan longitudinal balok yang berhenti dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka terjauh dari inti kolom terkekang dan diangkurkan dalam tarik sesuai 7.7.5 dan dalam tekan sesuai Pasal 12 ACI 318-08.

7.7.2.3 Jika tulangan longitudinal balok diteruskan melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal. Untuk beton ringan, dimensi tersebut tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

7.7.3 Tulangan transversal

7.7.3.1 Tulangan transversal joint harus memenuhi salah satu dari 7.6.4.4 (a) atau 7.6.4.4 (b), dan juga harus memenuhi 7.6.4.2, 7.6.4.3, dan 7.6.4.7 kecuali kasus yang diijinkan dalam 7.7.3.2.

7.7.3.2 Jika komponen-komponen struktur portal terakit kepada keempat sisi joint dan jika masing-masing lebar komponen struktur paling sedikit $\frac{3}{4}$ kali lebar kolom, maka jumlah penulangan yang disyaratkan dalam 7.6.4.4 (a) atau 7.6.4.4 (b) boleh direduksi setengahnya, dan spasi yang diperlukan dalam 7.6.4.3 boleh diperbesar menjadi 150 mm di sepanjang ketinggian h dari komponen struktur terakit yang paling tipis.

7.7.3.3 Tulangan longitudinal balok di luar inti beton harus dikekang dengan tulangan transversal yang melewati kolom dengan spasi yang disyaratkan oleh 7.5.3.2, dan oleh 7.5.3.3 dan 7.5.3.6 jika kekangan tidak disediakan oleh balok yang terakit ke dalam joint.

7.7.4 Kekuatan geser

7.7.4.1 Nilai V_n dari joint tidak boleh diambil lebih besar dari nilai yang disyaratkan untuk beton normal berikut ini.

Untuk joint terkekang pada empat muka $1,7\sqrt{f'_c}A_j$

Untuk joint terkekang pada tiga muka atau dua muka berlawanan..... $1,2\sqrt{f'_c}A_j$

Untuk kondisi lainnya $1,0\sqrt{f'_c}A_j$

Untuk joint terkekang yang dipasang pada bagian lantai teratas, berlaku ketentuan sebagai berikut :

Untuk joint terkekang pada empat muka $1,25\sqrt{f'_c}A_j$

Untuk joint terkekang pada tiga muka atau dua muka berlawanan $1,0\sqrt{f'_c}A_j$

Untuk kondisi lainnya $0,75\sqrt{f'_c}A_j$

Komponen struktur yang terakit ke dalam satu muka dinyatakan memberikan kekangan kepada sambungan jika paling sedikit tiga perempat muka sambungan ditutup oleh komponen struktur tersebut. Penerusan balok-balok sekurang-kurangnya sebesar tinggi balok h di atas muka sambungan diperbolehkan untuk diambil sebagai komponen pengekang. Penerusan balok-balok harus memenuhi 7.5.1.3, 7.5.2.1, 7.5.3.2, 7.5.3.3 dan 7.5.3.6. Suatu sambungan dianggap terkekang jika komponen-komponen pengekang terakit kepada semua muka joint.

A_j adalah luas penampang efektif dalam joint yang dihitung dari tinggi joint dikali lebar sambungan efektif. Tinggi joint adalah tinggi total kolom h . Lebar joint efektif adalah lebar total dari kolom, kecuali jika suatu balok terakit kepada kolom yang lebih lebar, maka lebar joint efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- Lebar balok ditambah tinggi joint;
- Dua kali jarak tegak lurus terkecil dari sumbu longitudinal balok terhadap sisi kolom.

7.7.4.2 Untuk beton ringan, kekuatan geser nominal joint tidak boleh melebihi tiga perempat dari batas-batas yang diberikan oleh 7.7.4.1.

7.7.5 Panjang penyaluran batang tulangan tarik

7.7.5.1 Untuk batang berukuran 9,5 mm (No. 10) hingga 35,8 mm (No. 36), panjang penyaluran ℓ_{dh} batang berkait siku standar dalam beton normal tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari antara $8d_b$, 150 mm, dan nilai yang disyaratkan oleh

$$\ell_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f'_c}} \quad (34)$$

Untuk beton ringan, ℓ_{dh} batang tulangan dengan kait siku standar tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $10d_b$, 190 mm, dan 1,25 kali nilai yang diberikan oleh Persamaan (34).

Kait siku harus ditempatkan di dalam inti terkekang dari kolom atau elemen pembatas.

7.7.5.2 Untuk batang berukuran 9,5 mm (No. 10) hingga 35,8 mm (No. 36), panjang penyaluran ℓ_d dalam tarik tulangan lurus, tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari antara (a) dan (b) berikut:

- (a) 2,5 kali panjang yang disyaratkan oleh 7.7.5.1 jika kedalaman beton sekali coran di bawah batang tulangan tidak melebihi 300 mm;
- (b) 3,25 kali panjang yang disyaratkan oleh 7.7.5.1 jika kedalaman beton sekali coran di bawah batang tulangan melebihi 300 mm;

7.7.5.3 Batang lurus yang diputus pada suatu joint harus dilewatkan melalui inti beton terkekang kolom atau elemen pembatas. Bagian dari ℓ_d yang tidak berada dalam beton inti terkekang harus dinaikkan dengan faktor 1,6.

7.7.5.4 Jika digunakan penulangan yang dilapisi epoksi, panjang penyaluran dalam 7.7.5.1 hingga 7.7.5.3 harus dikalikan dengan faktor yang sesuai dalam 12.2.4 ACI 318-08 atau 12.5.2 ACI 318-08.

7.8 Portal khusus yang terbuat dari beton pracetak

7.8.1 Ruang lingkup

Persyaratan 7.8 berlaku untuk portal khusus yang menggunakan beton pracetak dan merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa.

7.8.2 Portal khusus dengan sambungan daktail dan menggunakan beton pracetak harus memenuhi (a) dan (b) serta semua persyaratan untuk portal khusus yang terbuat dari beton yang dicor setempat:

- (a) V_n untuk sambungan yang dihitung menurut 5.5.3.4.1 tidak boleh kurang dari $2V_e$ di mana V_e dihitung menurut 7.5.4.1 atau 7.6.5.1;
- (b) Sambungan mekanis tulangan balok harus ditempatkan tidak lebih dekat dari $h/2$ dari muka joint, serta memenuhi persyaratan 7.1.6.

7.8.3 Portal khusus dengan sambungan kuat serta terbuat dari beton pracetak harus memenuhi semua ketentuan untuk portal khusus yang terbuat dari beton cor di tempat, dan ketentuan berikut ini:

- a) Ketentuan 7.5.1.2 berlaku bagi segmen antara lokasi di mana leleh lentur diinginkan terjadi akibat perpindahan desain;
- b) Kekuatan desain sambungan kuat, ϕS_n , tidak boleh kurang dari S_e ;
- c) Tulangan longitudinal utama harus dibuat menerus melewati sambungan dan harus disalurkan di luar sambungan kuat dan daerah sendi plastis; dan
- d) Untuk sambungan kolom-ke-kolom, ϕS_n tidak boleh kurang dari $1,4 S_e$. Pada sambungan kolom-ke-kolom, ϕM_n tidak boleh kurang dari $0,4 M_{pr}$ untuk kolom dalam ketinggian tingkat, dan ϕV_n sambungan tidak boleh kurang dari V_e yang ditentukan oleh 7.6.5.1.

7.8.4 Portal khusus yang dibuat dengan beton pracetak dan tidak memenuhi ketentuan dalam 7.8.2 atau 7.8.3 harus memenuhi persyaratan ACI 374.1 dan ketentuan (a) dan (b) berikut ini:

- (a) Detail dan material yang digunakan dalam spesimen uji harus mewakili dari yang digunakan dalam struktur; dan
- (b) Prosedur desain dalam mengatur spesimen uji harus mendefinisikan mekanisme bagaimana portal menahan pengaruh gravitasi dan gempa, dan harus menetapkan nilai kriteria penerimaan dalam mendukung mekanisme tersebut. Bagian dari mekanisme yang mendeviasi dari persyaratan peraturan harus dicakup dalam spesimen uji dan harus diuji untuk menentukan batas atas nilai kriteria penerimaan.

7.9 Dinding struktural khusus dan balok kopel

7.9.1 Ruang lingkup

Persyaratan 7.9 berlaku bagi dinding struktural khusus, beton cor di tempat atau pracetak, dan balok kopel sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa. Dinding struktural khusus yang menggunakan beton pracetak juga harus memenuhi 7.10.

7.9.2 Penulangan

7.9.2.1 Rasio penulangan badan yang disebarkan, ρ_ℓ dan ρ_t dinding struktural tidak boleh kurang dari 0,0025; kecuali jika V_u tidak melebihi $0,083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$, maka ρ_ℓ dan ρ_t boleh direduksi menjadi nilai yang disyaratkan dalam 8.3. Spasi penulangan di masing-masing arah dinding struktural tidak boleh melebihi 450mm. Penulangan yang menyumbang terhadap V_n harus menerus dan disebarkan pada bidang geser.

7.9.2.2 Paling sedikit dua tirai penulangan harus digunakan pada dinding jika V_u melampaui $0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$.

7.9.2.3 Penulangan dalam dinding struktural harus disalurkan atau disambung untuk f_y dalam tarik sesuai Pasal 12 ACI 318-08, kecuali:

- a) Tinggi efektif komponen struktur yang diacu dalam 12.10.3 ACI 318-08 diijinkan untuk diambil sebesar $0,8\ell_w$ untuk dinding.
- b) Persyaratan dalam 12.11, 12.12 dan 12.13 ACI 318-08 tidak perlu dipenuhi.
- c) Pada lokasi di mana tulangan longitudinal kemungkinan meleleh akibat dari perpindahan lateral, panjang penyaluran tulangan longitudinal harus diambil 1,25 kali nilai yang dihitung untuk f_y dalam tarik.
- d) Sambungan mekanis tulangan harus memenuhi persyaratan 7.1.6 dan sambungan las tulangan harus memenuhi persyaratan 7.1.7.

7.9.3 Gaya desain

V_u harus diperoleh dari analisis beban lateral sesuai dengan kombinasi beban terfaktor.

7.9.4 Kekuatan geser

7.9.4.1 V_n dinding struktural tidak boleh melebihi

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (35)$$

di mana koefisien α_c bernilai 0,25 untuk $h_w/\ell_w \leq 1,5$ dan 0,17 untuk $h_w/\ell_w \geq 2,0$, dan bervariasi linier antara 0,25 dan 0,17 untuk h_w/ℓ_w antara 1,5 dan 2,0.

7.9.4.2 Dalam 7.9.4.1, nilai rasio h_w/ℓ_w yang digunakan untuk menghitung V_n untuk segmen dinding harus merupakan nilai terbesar dari rasio-rasio seluruh dinding dan segmen dinding yang ditinjau.

7.9.4.3 Dinding harus memiliki tulangan geser terdistribusi untuk memberikan ketahanan pada dua arah yang ortogonal pada bidang dinding. Jika nilai h_w/ℓ_w tidak melebihi 2,0, rasio tulangan ρ_ℓ tidak boleh kurang dari rasio tulangan ρ_t .

7.9.4.4 Untuk semua pilar dinding yang membagi gaya lateral bersama, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0,66A_{cv}\sqrt{f'_c}$, di mana A_{cv} adalah luas bruto beton yang dicakup oleh tebal badan dan panjang penampang. Untuk masing-masing pilar dinding individual, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0,83A_{cw}\sqrt{f'_c}$, di mana A_{cw} adalah luas penampang beton pilar individual yang ditinjau.

7.9.4.5 Untuk segmen dinding horisontal dan balok kopel, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0,83A_{cw}\sqrt{f'_c}$, di mana A_{cw} adalah luas penampang beton segmen dinding horisontal atau balok kopel.

7.9.5 Desain beban lentur dan aksial

7.9.5.1 Dinding struktural dan bagiannya yang menahan kombinasi beban lentur dan aksial harus dirancang menurut 10.2 ACI 318-08 dan 10.3 ACI 318-08 kecuali bahwa 10.3.6 ACI

318-08 dan persyaratan regangan non-linier dalam 10.2.2 ACI 318-08 tidak berlaku. Beton dan penyaluran tulangan longitudinal dalam lebar efektif sayap, elemen pembatas dan badan dinding harus diperhitungkan efektif. Pengaruh dari bukaan harus diperhitungkan.

7.9.5.2 Kecuali jika dilakukan analisis yang lebih rinci, lebar sayap efektif dari penampang bersayap harus diteruskan dari muka badan sejarak sama dengan nilai terkecil antara setengah jarak terhadap badan dinding bersebelahan dan 25 persen dari tinggi dinding total.

7.9.6 Elemen pembatas dinding struktural khusus

7.9.6.1 Keperluan untuk elemen pembatas khusus pada tepi dinding struktural harus dievaluasi sesuai dengan 7.9.6.2 atau 7.9.6.3. Persyaratan dalam 7.9.6.4 dan 7.9.6.5 juga harus dipenuhi.

7.9.6.2 Pasal ini berlaku bagi dinding atau pilar dinding yang secara efektif menerus dari dasar struktur sampai atas dinding serta yang direncanakan memiliki penampang kritis tunggal untuk gaya lentur dan aksial. Dinding yang tidak memenuhi ketentuan ini harus direncanakan menurut 7.9.6.3.

(a) Zona tekan harus diperkuat dengan elemen pembatas khusus di mana

$$c \geq \frac{\ell_w}{600 (\delta_u / h_w)} \quad (36)$$

Besaran c dalam Persamaan (36) sesuai dengan kedalaman sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang konsisten dengan perpindahan desain δ_u . Rasio δ_u / h_w dalam Persamaan (36) tidak boleh diambil kurang dari 0,007;

(b) Jika elemen pembatas khusus diperlukan oleh 7.9.6.2 (a), tulangan elemen pembatas khusus harus diteruskan secara vertikal dari penampang kritis sejauh tidak kurang dari nilai terbesar dari ℓ_w atau $M_u / 4V_u$.

7.9.6.3 Dinding struktural yang tidak didesain sesuai ketentuan 7.9.6.2 harus mempunyai elemen pembatas khusus pada batas-batas dan tepi-tepi seputar bukaan dinding struktural dimana tegangan tekan serat terluar maksimum, yang berkaitan dengan kombinasi pembebanan yang mencakup pengaruh gempa E , melampaui $0,20 f'_c$. Elemen pembatas khusus harus diperkenankan tidak menerus pada lokasi di mana tegangan tekan terhitung bernilai kurang dari $0,15 f'_c$. Tegangan harus dihitung untuk gaya terfaktor dengan menggunakan model elastik linier dan sifat penampang bruto. Untuk dinding bersayap, harus digunakan lebar sayap efektif seperti didefinisikan dalam 7.9.5.2.

7.9.6.4 Jika elemen pembatas khusus diisyaratkan oleh 7.9.6.2 atau 7.9.6.3, maka ketentuan (a) sampai (e) berikut harus dipenuhi:

(a) Elemen pembatas harus diteruskan secara horisontal dari serat tekan terluar sejarak tidak kurang dari nilai paling besar dari $(c - 0,1\ell_w)$ dan $c/2$, di mana c adalah kedalaman garis netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang konsisten dengan δ_u ;

- (b) Pada penampang bersayap, elemen pembatas harus mencakup lebar sayap efektif dalam tekan dan harus diteruskan setidaknya 300mm ke dalam badan;
- (c) Tulangan transversal elemen pembatas harus memenuhi persyaratan 7.6.4.2 sampai 7.6.4.4, kecuali bahwa Persamaan (15) tidak perlu dipenuhi dan batas spasi tulangan transversal dalam 7.6.4.3 (a) harus sepertiga dari dimensi terkecil elemen pembatas;
- (d) Tulangan transversal elemen pembatas pada dasar dinding harus diteruskan ke dalam tumpuan setidaknya sepanjang ℓ_d sesuai dengan 7.9.2.3, dari tulangan longitudinal terbesar dalam elemen pembatas khusus kecuali elemen pembatas khusus dihentikan pada fondasi telapak atau rakit di mana tulangan transversal elemen pembatas khusus harus diteruskan setidaknya 300mm ke dalam telapak atau rakit;
- (e) Tulangan horisontal dalam badan dinding harus diangkurkan untuk mengembangkan f_y dalam inti terkekang elemen pembatas.

7.9.6.5 Jika elemen pembatas khusus tidak diperlukan 7.9.6.2 atau 7.9.6.3, maka ketentuan (a) dan (b) berikut harus dipenuhi:

- (a) Jika rasio tulangan longitudinal pada batas dinding lebih besar dari $2,8/f_y$, tulangan transversal pembatas harus memenuhi 7.6.4.2 dan 7.9.6.4 (a). Spasi longitudinal maksimum tulangan transversal pada pembatas tidak boleh melebihi 200mm;
- (b) Kecuali jika V_u pada bidang dinding kurang dari $0,083A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$, tulangan horisontal yang dihentikan pada tepi dinding struktural tanpa elemen pembatas harus memiliki kait standar yang terhubung ke tulangan tepi, atau tulangan tepi harus dilingkupi oleh sengkang U yang memiliki ukuran dan spasi yang sama dan disambungkan ke tulangan horisontal.

7.9.7 Balok kopel

7.9.7.1 Balok kopel dengan $(\ell_n/h) \geq 4$ harus memenuhi persyaratan 7.5. Ketentuan 7.5.1.3 dan 7.5.1.4 tidak perlu dipenuhi jika dengan analisis dapat ditunjukkan bahwa balok memiliki stabilitas lateral yang cukup.

7.9.7.2 Balok kopel dengan $(\ell_n/h) < 2$ dan V_u yang melebihi $0,33\lambda\sqrt{f'_c}A_{cw}$ harus ditulangi dengan dua kelompok batang tulangan berpotongan yang ditempatkan secara diagonal dan simetris terhadap tengah bentang, kecuali jika dapat ditunjukkan bahwa kehilangan kekakuan dan kekuatan balok kopel tidak mempengaruhi kemampuan struktur dalam menahan beban vertikal, jalan keluar struktur atau integritas dari komponen non-struktural dan sambungannya terhadap struktur.

7.9.7.3 Balok kopel yang tidak diatur oleh 7.9.7.1 atau 7.9.7.2 harus diijinkan ditulangi dengan dua kelompok tulangan diagonal yang berpotongan pada tengah bentang, atau ditulangi menurut 7.5.2 sampai 7.5.4.

7.9.7.4 Balok kopel yang ditulangi dengan dua kelompok tulangan diagonal simetris yang berpotongan sekitar tengah bentang, harus memenuhi ketentuan (a), (b), dan salah satu dari (c) atau (d) berikut. Persyaratan dalam 11.7 ACI 318-08 tidak berlaku.

(a) V_n harus dihitung dengan

$$V_n = 2A_{vd}f_y \sin \alpha \leq 10\sqrt{f'_c}A_{cw} \quad (37)$$

dimana α adalah sudut antara tulangan diagonal dan sumbu longitudinal balok kopel.

- (b) Masing-masing kelompok tulangan diagonal harus terdiri dari minimum empat batang dalam dua lapis atau lebih. Tulangan diagonal harus ditanam ke dalam dinding sedalam tidak kurang dari 1,25 kali panjang penyaluran untuk f_y dalam tarik.
- (c) Masing-masing kelompok tulangan diagonal harus dilingkupi dengan tulangan transversal yang mempunyai dimensi luar-ke-luar yang tidak kurang dari $b_w/2$ di arah paralel dengan b_w dan $b_w/5$ sepanjang sisi lainnya, di mana b_w adalah lebar badan balok kopel. Tulangan transversal harus memenuhi ketentuan 7.6.4.2 dan 7.6.4.4, harus diberi spasi yang diukur paralel dengan tulangan diagonal sesuai ketentuan 6.6.4.3 (c) dan tidak melebihi enam kali diameter tulangan diagonal, dan harus memiliki spasi tulangan pengikat silang atau kaki tulangan melingkar diukur tegak lurus terhadap tulangan diagonal yang tidak melebihi 350mm. Untuk keperluan perhitungan A_g yang akan digunakan dalam Persamaan (31) dan Persamaan (32) standar ini, selimut beton yang disyaratkan 7.7 ACI 318-08 harus disediakan pada ke-empat sisi masing-masing kelompok tulangan diagonal. Tulangan transversal atau tulangan yang secara alternatif diatur sebagai tulangan transversal yang memenuhi persyaratan spasi dan rasio volume dari tulangan transversal sepanjang diagonal, harus dibuat menerus melalui perpotongan tulangan diagonal. Tulangan longitudinal dan transversal tambahan harus disebarakan disekitar perimeter balok dengan luas total pada masing-masing arah yang tidak kurang dari $0,002 b_w s$ dan spasi yang tidak melebihi 300mm.
- d) Tulangan transversal harus disediakan untuk keseluruhan penampang melintang balok sesuai dengan 7.6.4.2, 7.6.4.4, dan 7.6.4.7, dengan spasi longitudinal yang tidak melebihi nilai terkecil dari 150mm dan enam kali diameter tulangan diagonal, dan dengan spasi ikatan silang atau kaki tulangan melingkar vertikal dan horisontal pada bidang penampang balok yang tidak melebihi 200mm. Masing-masing ikatan silang dan kaki tulangan melingkar harus disambungkan dengan tulangan longitudinal dengan diameter sama atau lebih besar. Diiijinkan untuk mengatur konfigurasi tulangan melingkar seperti disyaratkan dalam 7.5.3.6.

7.9.8 Joint konstruksi

Semua joint konstruksi pada dinding struktural harus sesuai dengan 6.4 ACI 318-08 dan permukaan kontak harus dikasarkan seperti 5.5.3.4.2 (11.6.9 ACI 318-08).

7.9.9 Dinding tidak menerus

Kolom yang menahan dinding struktural tidak menerus harus ditulangi sesuai dengan 7.6.4.6.

7.10 Dinding struktural khusus yang terbuat dari beton pracetak

7.10.1 Ruang lingkup

Persyaratan 7.10 berlaku bagi dinding struktural khusus yang terbuat dari beton pracetak sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa.

7.10.2 Dinding struktural khusus yang terbuat dari beton pracetak harus memenuhi semua persyaratan 7.9 selain 7.4.2 dan 7.4.3.

7.10.3 Dinding struktural khusus yang terbuat dari beton pracetak dan tendon pasca-tarik tanpa lekatan dan yang tidak memenuhi persyaratan 7.10.2, diperkenankan asalkan dinding tersebut memenuhi persyaratan ACI ITG-5.1.

7.11 Diafragma struktural dan rangka sendi

7.11.1 Ruang lingkup

Pelat lantai dan atap yang berfungsi sebagai diafragma struktural untuk menyalurkan gaya yang ditimbulkan gerakan tanah akibat gempa dalam struktur yang digolongkan ke dalam KDS D, E atau F harus didesain sesuai pasal ini. Pasal ini juga berlaku terhadap elemen kolektor dan rangka sendi yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa.

7.11.2 Gaya desain

Gaya desain gempa untuk diafragma struktural harus diperoleh dari peraturan bangunan gedung yang berlaku dengan menggunakan ketentuan dan kombinasi pembebanan yang berlaku.

7.11.3 Alur beban gempa

7.11.3.1 Semua diafragma dan sambungannya harus diproporsikan dan didetail untuk menyediakan penyaluran gaya secara lengkap ke elemen kolektor dan elemen vertikal sistem penahan gaya gempa.

7.11.3.2 Elemen dari suatu sistem diafragma struktural yang terutama dibebani gaya aksial dan digunakan untuk menyalurkan gaya geser atau lentur diafragma sekitar bukaan atau elemen yang tidak menerus lainnya, harus memenuhi persyaratan bagi kolektor sesuai dengan 7.11.7.5 dan 7.11.7.6.

7.11.4 Diafragma pelat topping komposit yang dicor di tempat

Pelat bertopping komposit yang dicor di tempat di atas suatu lantai atau atap pracetak harus diijinkan berperan sebagai diafragma struktural, asalkan pelat bertopping diberi penulangan dan permukaan beton yang mengeras sebelum topping dilakukan berada dalam keadaan bersih dan bebas dari serpihan serta sengaja dikasarkan.

7.11.5 Diafragma pelat bertopping yang dicor di tempat

Topping non-komposit yang dicor di tempat pada suatu lantai atau atap pracetak harus diijinkan berperan sebagai diafragma struktural, asalkan topping yang bekerja sendirian diproporsikan dan didetail untuk menahan gaya gempa desain.

7.11.6 Tebal minimum diafragma

Tebal pelat beton dan pelat topping komposit yang berfungsi sebagai diafragma struktural untuk menyalurkan gaya gempa tidak boleh kurang dari 50 mm. Tebal pelat topping yang ditempatkan di atas komponen lantai atau atap pracetak dan bekerja sebagai diafragma struktural serta tidak mengandalkan aksi komposit dengan elemen pracetak dalam memikul gaya gempa desain, tidak boleh diambil kurang dari 65 mm.

7.11.7 Penulangan

7.11.7.1 Rasio tulangan minimum untuk diafragma struktural harus sesuai dengan 7.12 ACI 318-08. Kecuali untuk pelat pasca-tarik, spasi tulangan di masing-masing arah pada sistem lantai atau atap tidak boleh melebihi 450 mm. Jika tulangan kawat yang dilas digunakan sebagai tulangan yang tersebar untuk menahan geser pada pelat topping yang diletakkan di atas elemen lantai atau atap pracetak, maka tulangan kawat yang sejajar bentang elemen pracetak harus ditempatkan dengan spasi yang tidak kurang dari 250 mm pada pusat.

Tulangan yang disediakan untuk kekuatan geser harus dibuat menerus dan disebarakan merata di arah melintang bidang geser.

7.11.7.2 Tendon dengan lekatan yang digunakan sebagai tulangan untuk menahan gaya kolektor atau geser dan lentur tarik diafragma harus diproporsikan sedemikian hingga tegangan akibat gaya gempa desain tidak melebihi 420 MPa. Pra-tekan dari tendon tanpa lekatan harus diperkenankan menahan gaya desain diafragma jika alur beban gempa tersedia.

7.11.7.3 Semua tulangan yang digunakan menahan gaya kolektor, geser diafragma atau tarik lentur harus disalurkan atau disambung lewat untuk f_y dalam tarik.

7.11.7.4 Sambungan Tipe 2 diperlukan dalam hal sambungan mekanis yang digunakan untuk menyalurkan gaya antara elemen diafragma dan vertikal dari sistem penahan gaya gempa.

7.11.7.5 Elemen kolektor dengan tegangan tekan yang melebihi $0,2f'_c$ pada penampang manapun, harus memiliki tulangan transversal sesuai dengan 7.9.6.4 (c) di sepanjang elemen. Tulangan transversal yang disyaratkan diperkenankan tidak menerus pada suatu penampang bila tegangan tekan yang dihitung kurang dari $0,15f'_c$.

Jika gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan-lebih elemen vertikal dari sistem penahan gaya gempa, batas $0,2f'_c$ harus dinaikkan menjadi $0,5f'_c$ dan batas $0,15f'_c$ harus dinaikkan menjadi $0,4f'_c$.

7.11.7.6 Tulangan longitudinal elemen kolektor pada zona sambungan dan pengangkuran harus memiliki salah satu dari:

- Spasi minimum pusat-ke-pusat sebesar tiga diameter batang longitudinal, tetapi tidak kurang dari 40mm, dan selimut minimum bersih beton sebesar 2,5 diameter batang diagonal, tetapi tidak kurang dari 50 mm; atau
- Tulangan transversal yang disyaratkan oleh 5.6.1.1, kecuali sebagai mana disyaratkan oleh 7.11.7.5.

7.11.8 Kekuatan lentur

Diafragma dan bagian diafragma harus didesain terhadap lentur sesuai dengan 10.2 ACI 318-08 dan 10.3 ACI 318-08, kecuali jika persyaratan distribusi regangan non-linier untuk balok tinggi dalam 10.2.2 ACI 318-08 tidak berlaku. Pengaruh bukaan juga harus diperhitungkan.

7.11.9 Kekuatan geser

7.11.9.1 Kekuatan geser V_n diafragma struktural tidak boleh melebihi

$$V_n = A_{cv} \left(0,17 \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y \right) \quad (38)$$

Untuk diafragma pelat topping cor di tempat pada komponen lantai atau atap pracetak, A_{cv} harus dihitung dengan menggunakan tebal pelat topping saja untuk diafragma pelat topping non-komposit, dan tebal kombinasi elemen cor di tempat dan elemen pracetak untuk

diafragma pelat topping komposit. Untuk diafragma pelat topping komposit, nilai f'_c yang digunakan dalam menghitung V_n tidak boleh melebihi nilai terkecil dari f'_c komponen pracetak dan f'_c pelat topping.

7.11.9.2 V_n diafragma struktural tidak boleh melebihi $0,66 A_{cv} \sqrt{f'_c}$.

7.11.9.3 Di atas joint antara elemen pracetak pada diafragma pelat topping cor di tempat yang non-komposit dan komposit, V_n tidak boleh melebihi

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \quad (39)$$

di mana A_{vf} adalah luas total tulangan friksi geser dalam pelat topping, termasuk tulangan terdistribusi dan tulangan pembatas, yang berorientasi tegak lurus terhadap joint sistem pracetak, dan koefisien friksi μ adalah $1,0 \lambda$ di mana nilai λ sesuai dengan 5.5.3.4.1.3. Setidaknya setengah dari A_{vf} harus didistribusikan merata sepanjang bidang geser potensial. Luas tulangan terdistribusi dalam pelat topping harus memenuhi 7.12.2.1 ACI 318-08 pada masing-masing arah.

7.11.9.4 Di atas joint antara elemen pracetak pada diafragma pelat topping cor di tempat non-komposit dan komposit, V_n tidak boleh melebihi batas dalam 11.6.5 ACI 318-08 di mana A_c dihitung dengan menggunakan tebal pelat topping saja.

7.11.10 Joint konstruksi

Semua joint konstruksi dalam diafragma harus memenuhi persyaratan menurut 7.11.10.1 dan permukaan kontak harus dikasarkan menurut 5.5.3.4.2.

7.11.10.1 Kondisi permukaan tulangan

7.11.10.1.1 Pada saat beton dicor, tulangan harus bebas dari lumpur, minyak, atau pelapis non-metalik lainnya yang mengurangi lekatan. Pelapis epoksi tulangan baja yang sesuai dengan standar yang diacu dalam 3.5.3.8 ACI 318-08 dan 3.5.3.9 ACI 318-08 harus diijinkan.

7.11.10.1.2 Kecuali untuk baja prategang, tulangan baja yang berkarat, kerak air pabrik, atau kombinasi keduanya harus dipertimbangkan memuaskan, memberi dimensi minimum (termasuk tinggi deformasi) dan berat spesimen uji hand-wire-brushed yang sesuai dengan spesifikasi ASTM yang berlaku diacu dalam 3.5 ACI 318-08.

7.11.10.1.3 Baja prategang harus bersih dan bebas dari minyak, kotoran, kerak air/scale, lubang dan karat yang berlebihan. Lapisan karat yang tipis diijinkan.

7.11.11 Rangka sendi struktural

7.11.11.1 Elemen rangka sendi struktural dengan tegangan tekan yang melebihi $0,2f'_c$ pada semua penampang harus diberi tulangan transversal sebagai mana diatur dalam 7.6.4.2 sampai 7.6.4.4 dan 7.6.4.7 di sepanjang elemen.

7.11.11.2 Semua tulangan menerus dalam elemen rangka sendi struktural harus dikembangkan atau disambungkan untuk f_y dalam tarik.

7.12 Fondasi

7.12.1 Ruang lingkup

7.12.1.1 Fondasi yang menahan gaya yang ditimbulkan gempa atau yang menyalurkan gaya akibat gempa antara struktur dan tanah dalam struktur yang digolongkan KDS D, E atau F harus sesuai dengan 7.12 dan ketentuan peraturan yang berlaku.

7.12.1.2 Ketentuan dalam pasal ini untuk fondasi tiang, pilar bor, kaisson, dan pelat di atas tanah harus melengkapi peraturan desain dan pelaksanaan lainnya yang berlaku. Lihat 1.1.6 dan 1.1.7.

7.12.2 Fondasi telapak, fondasi rakit dan pur (*pile cap*)

7.12.2.1 Tulangan longitudinal kolom dan dinding struktural yang menahan gaya induksi pengaruh gempa harus diteruskan ke dalam telapak, fondasi rakit atau pur (*pile cap*) dan harus dikembangkan secara penuh untuk tarik pada bidang kontak.

7.12.2.2 Kolom yang didesain dengan asumsi kondisi ujung terjepit pada fondasi harus sesuai dengan 7.12.2.1 dan jika kait diperlukan, tulangan longitudinal penahan lentur harus memiliki kait 90° di dekat dasar fondasi dengan ujung bebas tulangan yang dibengkokkan ke arah pusat kolom.

7.12.2.3 Kolom atau elemen pembatas dari dinding struktural khusus yang memiliki tepi setinggi setengah tebal telapak dari tepi telapak harus memiliki tulangan transversal sesuai dengan 7.6.4.2 sampai 7.6.4.4 di bawah sisi atas telapak. Tulangan ini harus diteruskan ke dalam telapak, rakit atau pur dan dikembangkan untuk f_y dalam tarik.

7.12.2.4 Bila pengaruh gempa menimbulkan gaya angkat dalam elemen pembatas dinding struktural khusus atau kolom, tulangan lentur harus disediakan pada bagian teratas dari telapak, rakit atau pur untuk menahan aksi akibat kombinasi beban desain, dan tidak boleh kurang dari yang disyaratkan dalam 10.5 ACI 318-08.

7.12.2.5 Lihat 22.10 ACI 318-08 untuk penggunaan beton polos struktural dalam telapak dan dinding besmen.

7.12.3 Balok grid dan pelat di atas tanah

7.12.3.1 Balok grid yang didesain sebagai sengkang pengikat horisontal antara pur atau telapak harus diberi tulangan longitudinal menerus dan yang harus disalurkan di dalam atau di luar kolom yang didukung, atau diangkurkan di dalam pur atau telapak pada semua lokasi pemutusan tulangan.

7.12.3.2 Balok grid yang didesain sebagai sengkang pengikat horisontal antara pur atau telapak harus diproporsikan sedemikian hingga dimensi penampang melintang terkecil harus sama atau lebih besar dari spasi bersih antara kolom yang terhubung dibagi dengan 20, tetapi tidak perlu lebih besar dari 450 mm. Sengkang pengikat tertutup harus disediakan dengan spasi yang tidak melebihi nilai terkecil antara setengah dimensi penampang melintang ortogonal terkecil dan 300 mm.

7.12.3.3 Balok grid dan balok yang merupakan bagian dari fondasi rakit yang menahan lentur dari kolom yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa, harus sesuai dengan 7.5.

7.12.3.4 Pelat di atas tanah yang menahan gaya gempa dari dinding atau kolom yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa harus didesain sebagai diafragma struktural sesuai dengan 7.11. Gambar desain harus menyatakan secara jelas bahwa pelat di atas tanah merupakan struktur diafragma dan bagian dari sistem penahan gaya gempa.

7.12.4 Fondasi tiang, pilar dan kaison

7.12.4.1 Ketentuan 7.12.4 berlaku bagi fondasi tiang beton, pilar dan kaison yang menahan struktur yang didesain tahan gempa.

7.12.4.2 Fondasi tiang, pilar atau kaison yang menahan beban tarik harus memiliki tulangan longitudinal menerus di sepanjang bagian yang menahan gaya tarik desain. Tulangan longitudinal harus didetail untuk menyalurkan gaya tarik dalam pur ke komponen struktural yang didukung.

7.12.4.3 Jika gaya tarik akibat pengaruh gempa disalurkan antara pur atau fondasi rakit dan fondasi tiang pracetak dengan batang tulangan yang digROUT atau dipasca-pasang pada bagian atas fondasi tiang, sistem grout harus dibuktikan melalui pengujian mampu mengembangkan setidaknya $1,25 f_y$ dari tulangan.

7.12.4.4 Fondasi tiang, pilar atau kaison harus memiliki tulangan transversal sesuai dengan 7.6.4.2 sampai 7.6.4.4 pada lokasi-lokasi berikut:

- (a) Pada bagian atas komponen struktur untuk setidaknya lima kali dimensi penampang melintang komponen struktur, tetapi tidak boleh kurang dari 1,8 m di bawah dasar pur;
- (b) Untuk bagian fondasi tiang dalam tanah yang tidak mampu memberi dukungan lateral, atau yang beradadi udara atau dalam air, sepanjang keseluruhan bagian yang tidak terdukung ditambah panjang yang diperlukan 7.12.4.4 (a).

7.12.4.5 Untuk fondasi tiang pancang beton pracetak, panjang tulangan transversal yang disediakan harus cukup untuk memperhitungkan variasi potensial dalam elevasi ujung atas tiang.

7.12.4.6 Fondasi tiang beton, pilar atau kaison dalam fondasi yang menahan konstruksi dinding penumpu stud satu-tingkat atau dua-tingkat, dikecualikan dari persyaratan tulangan transversal 7.12.4.4 dan 7.12.4.5.

7.12.4.7 Pur dengan fondasi tiang miring harus didesain menahan kekuatan tekan penuh fondasi tiang miring yang berperilaku sebagai kolom pendek. Pengaruh kelangsingan fondasi tiang miring harus diperhitungkan sebagai bagian fondasi tiang dalam tanah yang tidak mampu memberikan dukungan lateral, atau untuk bagian yang berada di udara atau dalam air.

7.13 Komponen struktur yang bukan merupakan bagian sistem penahan gaya gempa

7.13.1 Ruang lingkup

Persyaratan 7.13 berlaku terhadap komponen portal yang tidak digolongkan sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa dalam struktur yang digolongkan KDS D, E dan F.

7.13.2 Komponen portal yang diasumsikan tidak menyumbang perlawanan lateral, kecuali pelat dua arah tanpa balok, harus didetail sesuai dengan 7.13.3 sampai 7.13.4 tergantung kepada besar momen yang terinduksi dalam komponen struktur ketika menerima perpindahan desain δ_u . Jika pengaruh δ_u tidak diperiksa secara eksplisit, maka diperkenankan untuk menerapkan persyaratan 7.13.4. Untuk pelat dua arah tanpa balok, sambungan pelat-kolom harus memenuhi persyaratan 7.13.6.

7.13.3 Jika momen dan geser terinduksi akibat perpindahan desain δ_u , dikombinasikan dengan momen dan geser gravitasi terfaktor tidak melebihi kekuatan momen dan geser desain komponen portal, maka kondisi dalam 7.13.3.1, 7.13.3.2, dan 7.13.3.3 harus dipenuhi. Kombinasi beban gravitasi ($1,2D + 1,0L$) atau $0,9D$, harus digunakan yang paling kritis. Faktor beban pada beban hidup L harus diijinkan direduksi menjadi 0,5 kecuali untuk garasi, lokasi sebagai tempat pertemuan umum, dan semua daerah di mana L melebihi $4,8 \text{ kN/m}^2$.

7.13.3.1 Komponen struktur dengan gaya aksial gravitasi terfaktor yang tidak melebihi $A_g f'_c / 10$ harus memenuhi 7.5.2.1. Sengkang harus dipasang dengan spasi yang tidak melebihi $d/2$ di sepanjang komponen struktur.

7.13.3.2 Komponen struktur dengan gaya aksial gravitasi terfaktor yang melebihi $A_g f'_c / 10$ harus memenuhi 7.6.3.1, 7.6.4.2, dan 7.6.5. Spasi longitudinal maksimum sengkang pengikat diambil sebesar s_o untuk seluruh panjang komponen. Spasi s_o tidak boleh melebihi nilai terkecil antara enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi dan 150 mm.

7.13.3.3 Komponen struktur dengan gaya aksial gravitasi terfaktor yang melebihi $0,35 P_o$ harus memenuhi 7.13.3.2 dan 7.6.4.7. Jumlah tulangan transversal harus disediakan sebesar setengah dari yang disyaratkan oleh 7.6.4.4 dengan spasi yang tidak boleh lebih besar dari s_o untuk keseluruhan panjang komponen struktur.

7.13.4 Jika momen atau geser yang terinduksi oleh perpindahan desain δ_u melebihi ϕM_n atau ϕV_n komponen portal, atau jika momen terinduksi tidak dihitung, maka kondisi dalam 7.13.4.1, 7.13.4.2, dan 7.13.4.3 harus dipenuhi.

7.13.4.1 Material harus memenuhi 7.1.4.2, 7.1.4.3, 7.1.5.2, 7.1.5.4, dan 7.1.5.5. Sambungan mekanis harus memenuhi 7.1.6 dan sambungan las harus memenuhi 7.1.7.1.

7.13.4.2 Komponen struktur dengan gaya aksial gravitasi terfaktor yang tidak melebihi $A_g f'_c / 10$ harus memenuhi 7.5.2.1 dan 7.5.4. Sengkang harus dipasang dengan spasi yang tidak melebihi $d/2$ di sepanjang komponen struktur.

7.13.4.3 Komponen struktur dengan gaya aksial gravitasi terfaktor yang melebihi $A_g f'_c / 10$ harus memenuhi 7.6.3, 7.6.4, 7.6.5, dan 7.7.3.1.

7.13.5 Komponen struktur portal beton pracetak yang diasumsikan tidak menyumbang terhadap perlawanan lateral, termasuk sambungan-sambungannya, harus memenuhi (a), (b) dan (c), selain 7.13.2 sampai 7.13.4:

- (a) Senggang pengikat yang ditetapkan dalam 7.13.3.2 harus disediakan dalam keseluruhan tinggi kolom, termasuk tinggi balok;
- (b) Penulangan integritas struktural sebagaimana ditetapkan dalam 16.5 ACI 318-08, harus disediakan; dan
- (c) Panjang tumpuan pada perletakan balok harus setidaknya lebih panjang 50 mm dari yang ditentukan dari perhitungannya yang menggunakan nilai kekuatan tumpuan dari 10.14 ACI 318-08.

7.13.6 Untuk sambungan pelat-kolom dari pelat dua arah tanpa balok, tulangan geser pelat yang memenuhi 11.11.3 dan 11.11.5 ACI 318-08 serta yang menyediakan V_s tidak kurang dari $0,29\sqrt{f'_c}b_o d$ harus diteruskan setidaknya empat kali ketebalan pelat dari muka tumpuan, kecuali salah satu dari (a) atau (b) berikut ini dipenuhi:

- (a) Persyaratan 11.11.7 ACI 318-08 dengan menggunakan geser desain V_{ug} dan momen induksi akibat perpindahan desainya yang disalurkan antara pelat dan kolom;
- (b) Rasio simpangan tingkat desain tidak melebihi nilai terbesar antara **0,005** dan $[0,035 - 0,05 (V_{ug} / \phi V_c)]$.

Rasio simpangan tingkat desain harus diambil sebagai yang terbesar dari rasio simpangan tingkat desain dari tingkat berdekatan di atas dan di bawah sambungan pelat-kolom. V_c didefinisikan dalam 11.11.2 ACI 318-08. V_{ug} merupakan gaya geser terfaktor pada penampang kritis pelat dalam aksi dua arah, dihitung untuk kombinasi pembebanan $(1,2D + 1,0L)$.

Faktor pembebanan untuk beban hidup L diperbolehkan direduksi menjadi 0,5 kecuali untuk garasi, lokasi sebagai tempat pertemuan umum, dan semua daerah di mana L melebihi $4,8 \text{ kN/m}^2$.

8 Dinding

8.1 Ruang lingkup

8.1.1 Ketentuan Pasal 8 ini berlaku untuk desain dinding yang menahan beban aksial, dengan atau tanpa lentur.

8.1.2 Dinding kantilever penahan tanah harus didesain sesuai dengan ketentuan desain lentur bab 10 ACI 318-08 dengan tulangan horisontal minimum sesuai 8.3.3.

8.2 Umum

8.2.1 Dinding harus didesain untuk beban eksentris dan setiap beban lateral atau beban lainnya yang dibebankan pada dinding tersebut.

8.2.2 Dinding yang menahan beban aksial harus didesain sesuai 8.2, 8.3, dan salah satu 8.4, 8.5, atau 8.8.

8.2.3 Desain untuk geser harus sesuai dengan 11.9 ACI 318-08.

8.2.4 Kecuali dibuktikan dengan analisis, panjang horisontal dinding diperhitungkan sebagai efektif untuk setiap beban terpusat tidak boleh melebihi yang terkecil dari jarak pusat-kepusat antara beban, dan lebar tumpuan ditambah empat kali tebal dinding.

8.2.5 Komponen struktur tekan yang dibangun menyatu dengan dinding harus sesuai 8.2.5.1.

8.2.5.1 Batas terluar penampang melintang efektif komponen struktur bertulang spiral atau komponen struktur tekan bertulang yang diberi sengkang pengikat, dibangun secara monolit dengan suatu dinding beton atau tiang jembatan (*pier*) harus diambil tidak lebih besar dari 40 mm tulangan spiral terluar atau tulangan sengkang pengikat.

8.2.6 Dinding harus diangkurkan ke elemen yang berpotongan, seperti lantai dan atap; atau untuk pilaster kolom, penopang, dari dinding-dinding yang berpotongan; dan untuk fondasi.

8.2.7 Kuantitas tulangan dan batas ketebalan yang disyaratkan 8.3 dan 8.5 boleh diabaikan bila analisis struktural menunjukkan kekuatan dan stabilitas yang cukup.

8.2.8 Penyaluran gaya ke fondasi pada dasar dinding harus sesuai 15.8 ACI 318-08.

8.3 Tulangan minimum

8.3.1 Tulangan vertikal dan horisontal minimum harus sesuai 8.3.2 dan 8.3.3 kecuali jumlah yang disyaratkan lebih besar untuk geser oleh 8.3.1.1 dan 8.3.1.2.

8.3.1.1 Bila V_u kurang dari $0,5\phi V_c$, tulangan harus disediakan sesuai 8.3.1.2 atau sesuai Pasal 8. Bila V_u melebihi $0,5\phi V_c$, tulangan dinding untuk penahan geser harus disediakan sesuai 8.3.1.2.

8.3.1.2 Desain tulangan geser untuk dinding

8.3.1.2.1 Bila V_u melebihi ϕV_c , tulangan geser horisontal harus disediakan memenuhi Persamaan (41) dan Persamaan (42), di mana V_s harus dihitung dengan

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (40)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (41)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (42)$$

dimana A_v adalah luas tulangan geser horisontal di spasi s , dan d yang ditentukan sesuai 8.3.1.2.1.1. Tulangan geser vertikal harus disediakan sesuai 11.9.9.4 ACI 318-08.

8.3.1.2.1.1 Untuk desain gaya geser horisontal pada bidang dinding, d harus diambil sama dengan $0,8\ell_w$. Nilai d yang lebih besar, sama dengan jarak dari serat tekan terluar ke pusat gaya semua tulangan dalam tarik, boleh digunakan bila ditentukan dengan analisis kompatibilitas regangan.

8.3.1.2.1.2 Rasio luas tulangan geser vertikal terhadap luas beton bruto dari penampang horisontal, ρ_ℓ , tidak boleh kecil dari terbesar dari

$$\rho_\ell = 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{h_w}{\ell_w} \right) (\rho_t - 0,0025) \quad (43)$$

dan 0,0025. Nilai ρ_ℓ yang dihitung dengan Persamaan (43) tidak perlu lebih besar dari ρ_t yang disyaratkan oleh 8.3.1.2.1. Dalam Persamaan (43), ℓ_w adalah seluruh panjang dinding, dan h_w adalah seluruh tinggi dinding.

8.3.1.2.2 Rasio luas tulangan geser horisontal terhadap luas beton bruto penampang vertikal, ρ_t , tidak boleh kurang dari 0,0025.

8.3.1.2.3 Spasi tulangan geser horisontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari $\ell_w/5$, $3h$, dan 450 mm, di mana ℓ_w adalah panjang dinding keseluruhan.

8.3.1.2.4 Rasio luas tulangan geser vertikal terhadap luas beton bruto dari penampang horisontal, ρ_ℓ , tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari

$$\rho_\ell = 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{h_w}{\ell_w} \right) (\rho_t - 0,0025) \quad (44)$$

dan 0,0025. Nilai ρ_ℓ dihitung dengan Persamaan (44) tidak perlu lebih besar dari ρ_t yang disyaratkan oleh 8.3.1.2.1. Dalam Persamaan (44), ℓ_w adalah panjang dinding keseluruhan, dan h_w adalah tinggi dinding keseluruhan.

8.3.1.2.5 Spasi tulangan geser vertikal tidak boleh melebihi terkecil dari $\ell_w/3$, $3h$, dan 450 mm, di mana ℓ_w adalah panjang dinding keseluruhan.

8.3.2 Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas beton bruto, ρ_ℓ , harus:

- (a) 0,0012 untuk batang tulangan ulir tidak lebih besar dari 15,9 mm (No. 16) dengan f_y tidak kecil dari 420 MPa; atau
- (b) 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
- (c) 0,0012 untuk tulangan kawat dilas tidak lebih besar dari MW200 atau MD200.

8.3.3 Rasio minimum luas tulangan horisontal terhadap luas beton bruto, ρ_t , harus

- (a) 0,0020 untuk batang tulangan ulir tidak lebih besar dari 15,9 mm (No. 16) dengan f_y tidak kecil dari 420 MPa; atau
- (b) 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
- (c) 0,0020 untuk tulangan kawat dilas tidak lebih besar dari MW200 atau MD200.

8.3.4 Dinding yang lebih tebal dari 250 mm, kecuali dinding besmen, harus memiliki tulangan untuk setiap arah yang ditempatkan dalam dua lapis paralel dengan muka-muka dinding sesuai dengan yang berikut:

- (a) Satu lapis yang terdiri dari tidak kurang dari setengah dan tidak lebih dari dua pertiga dari tulangan total yang disyaratkan untuk setiap arah harus ditempatkan tidak kurang dari 50 mm maupun lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan eksterior;
- (b) Lapis lainnya, yang terdiri dari tulangan perlu pengimbang dalam arah tersebut, harus ditempatkan tidak kurang dari 20 mm maupun lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan interior.

8.3.5 Tulangan vertikal dan horisontal tidak boleh berjarak lebih dari tiga kali tebal dinding, maupun lebih dari 450 mm.

8.3.6 Tulangan vertikal tidak perlu dilingkupi dengan sengkang ikat lateral jika luas tulangan vertikal tidak lebih besar dari 0,01 kali luas beton bruto, atau di mana tulangan vertikal tidak diperlukan sebagai tulangan tekan.

8.3.7 Selain tulangan minimum yang disyaratkan oleh 8.3.1, tidak kecil dari dua batang tulangan 15,9 mm (No. 16) pada dinding yang memiliki dua lapis tulangan dalam kedua arah dan satu batang tulangan 15,9 mm (No. 16) pada dinding yang memiliki lapis tunggal dari tulangan dalam kedua arah harus tersedia sekeliling jendela, pintu, dan bukaan ukuran yang serupa. Batang tulangan yang demikian harus diangkurkan untuk mengembangkan f_y dalam tarik pada sudut-sudut bukaan.

8.4 Dinding yang didesain sebagai komponen struktur tekan

Kecuali seperti tersedia dalam 8.5, dinding yang memikul beban aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus didesain sebagai komponen struktur tekan sesuai 10.2, 10.3, 10.10, 10.11, 10.14 ACI 318-08, dan 8.2 serta 8.3.

8.5 Metode desain empirik

8.5.1 Dinding berpenampang persegi padat boleh didesain dengan ketentuan empirik 8.5 jika resultan semua beban terfaktor ditempatkan di sepertiga tengah dari ketebalan keseluruhan dinding dan semua batasan 8.2, 8.3, dan 8.5 dipenuhi.

8.5.2 Kekuatan aksial desain ϕP_n dari suatu dinding yang memenuhi batas 8.5.1 harus dihitung dengan Persamaan (45) kecuali didesain sesuai dengan 8.4.

$$\phi P_n = 0,55\phi f'_c A_g \left[1 - \left(\frac{k\ell_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (45)$$

dimana ϕ harus sesuai dengan penampang terkontrol tekan sesuai dengan 9.3.2.2 dan aktor panjang efektif k harus:

Untuk dinding bagian atas dan bawah yang dikekang terhadap translasi lateral dan

- (a) dikekang terhadap rotasi pada salah satu atau kedua ujungnya (atas, bawah, atau keduanya) 0,8

(b) bebas berotasi pada kedua ujung 1,0

Untuk dinding yang tidak dikekang terhadap translasi lateral 2,0

8.5.3 Tebal minimum dinding yang didesain dengan metode desain empirik

8.5.3.1 Tebal dinding yang ditumpu tidak boleh kecil dari 1/25 tinggi atau panjang yang ditumpu, pilih yang terpendek, tidak kecil dari 100 mm.

8.5.3.2 Tebal dinding besmen eksterior dan dinding fondasi tidak boleh kecil dari 190 mm.

8.6 Dinding tidak ditumpu

8.6.1 Tebal dinding yang tidak ditumpu tidak boleh kecil dari 100 mm, maupun kecil dari 1/30 jarak terkecil antara komponen struktur yang memberikan dukungan lateral.

8.7 Dinding sebagai balok grid

8.7.1 Dinding yang didesain sebagai balok di dalam tanah harus mempunyai tulangan atas dan bawah seperti yang disyaratkan untuk momen sesuai 10.2 sampai 10.7 ACI 318-08. Desain untuk geser harus sesuai Bab 11 ACI 318-08.

8.7.2 Bagian dinding balok grid yang terekspos di atas grid juga harus memenuhi persyaratan 8.3.

8.8 Desain alternatif dinding langsing

8.8.1 Bila kontrol tarik lentur desain di luar bidang gambar dari dinding, persyaratan 8.8 harus diperhitungkan memenuhi 10.10 ACI 318-08.

8.8.2 Dinding yang didesain dengan ketentuan 8.8 harus memenuhi 8.8.2.1 sampai 8.8.2.6.

8.8.2.1 Panel dinding harus didesain sebagai ditumpu sederhana, komponen struktur dibebani secara aksial yang menahan beban lateral seragam di luar bidang gambar, dengan momen maksimum dan lendutan yang terjadi pada tengah bentang.

8.8.2.2 Penampang melintang harus konstan disepanjang tinggi panel.

8.8.2.3 Dinding harus berada dalam kondisi kontrol tarik.

8.8.2.4 Tulangan harus memberi kekuatan desain

$$\phi M_n \geq M_{cr} \quad (46)$$

dimana M_{cr} harus diperoleh dengan menggunakan modulus hancur, f_r , diberikan oleh Persamaan (47).

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f'_c} \quad (47)$$

8.8.2.5 Beban gravitasi terpusat yang diterapkan pada dinding di atas penampang lentur desain harus diasumsikan terdistribusi disepanjang lebar:

- (a) Sama dengan lebar penumpu beban, ditambah dengan lebar pada masing-masing sisi yang membesar dengan kemiringan 2 vertikal dan 1 horizontal sampai ke penampang desain; tetapi
- (b) Tidak lebih besar dari jarak beban terpusat; dan
- (c) Tidak diteruskan di luar tepi panel dinding.

8.8.2.6 Tegangan vertikal P_u/A_g pada penampang tengah-tinggi tidak boleh melebihi $0,06f'_c$.

8.8.3 Kekuatan momen desain ϕM_n untuk kombinasi beban lentur dan aksial pada tengah-tinggi harus

$$\phi M_n \geq M_u \quad (48)$$

dimana

$$M_u = M_{ua} + P_u \Delta_u \quad (49)$$

dan M_{ua} adalah momen terfaktor maksimum pada tengah tinggi dinding akibat beban lateral dan beban vertikal eksentris, tidak termasuk efek $P\Delta$, dan Δ_u adalah

$$\Delta_u = \frac{5M_{ua}\ell_c^2}{(0,75)48E_c I_{cr}} \quad (50)$$

Momen M_u harus diperoleh dengan iterasi lendutan, atau dengan Persamaan (51).

$$M_u = \frac{M_{ua}}{1 - \frac{5P_u\ell_c^2}{(0,75)48E_c I_{cr}}} \quad (51)$$

dimana

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c} \left(A_s + \frac{P_u}{f_y} \frac{h}{2d} \right) (d - \phi)^2 + \frac{\ell_w c^3}{3} \quad (52)$$

dan nilai E_s/E_c tidak boleh diambil kurang dari 6.

8.8.4 Lendutan maksimum di luar bidang gambar, Δ_s , akibat beban layan, termasuk efek $P\Delta$, tidak boleh melebihi $\ell_c/150$.

Jika M_a , momen maksimum pada tengah-tinggi dinding akibat beban lateral layan dan beban vertikal eksentris, termasuk efek $P\Delta$, melebihi $(2/3)M_{cr}$, Δ_s harus dihitung dengan Persamaan (53)

$$\Delta_s = (2/3)\Delta_{cr} + \frac{(M_a - (2/3)M_{cr})}{(M_n - (2/3)M_{cr})} [\Delta_n - (2/3)\Delta_{cr}] \quad (53)$$

Jika M_a tidak melebihi $(2/3)M_{cr}$, Δ_s harus dihitung dengan Persamaan (54)

$$\Delta_s = \left(\frac{M_a}{M_{cr}} \right) \Delta_{cr} \quad (54)$$

dimana

$$\Delta_{cr} = \frac{5M_{cr}\ell_c^2}{48E_c I_g} \quad (55)$$

$$\Delta_n = \frac{5M_n\ell_c^2}{48E_c I_{cr}} \quad (56)$$

I_{cr} harus dihitung dengan Persamaan (52), dan M_a harus diperoleh dengan iterasi lendutan.



Penjelasan

R4.1 Ruang lingkup

R4.1.1 Lihat 3.2 untuk definisi beton pracetak

Persyaratan desain dan pelaksanaan komponen struktural beton pracetak berbeda dalam beberapa hal dari komponen struktural beton cor di tempat dan perbedaan-perbedaan tersebut dibahas dalam bab ini. Ketentuan-ketentuan untuk beton cor di tempat yang berlaku untuk beton pracetak, tidak akan diulangi. Serupa dengan itu, hal-hal yang berkaitan dengan beton komposit dalam Bab 5 dan yang berkaitan dengan beton prategang dalam Bab 6 yang berlaku untuk beton pracetak, juga tidak dicantumkan.

Rekomendasi yang lebih rinci mengenai beton pracetak dicantumkan dalam Referensi 16.1 hingga Referensi 16.7. Konstruksi beton *tilt-up* merupakan sesuatu bentuk beton pracetak. Direkomendasikan agar Referensi 16.8 dikaji untuk struktur semacam ini.

R4.2 Persyaratan umum

R4.2.1 Tegangan-tegangan yang timbul dalam komponen pracetak selama periode dari pengecoran hingga penyambungan akhir boleh jadi melebihi tegangan-tegangan beban layan. Prosedur penanganan dapat mengakibatkan deformasi yang tidak diinginkan. Perhatian yang seksama harus diberikan kepada metoda penyimpanan, pengangkutan dan pemasangan komponen pracetak sedemikian hingga kinerja pada tingkat beban layan dan kekuatan di bawah beban terfaktor memenuhi persyaratan Standar.

R4.2.2 Perilaku struktural komponen-komponen pracetak boleh jadi sangat berbeda dengan perilaku komponen-komponen serupa yang dicor di tempat. Desain sambungan untuk meminimalkan atau menyalurkan gaya-gaya akibat susut, rangkak, perubahan suhu, deformasi elastis, perbedaan penurunan, angin dan gempa membutuhkan peninjauan dalam konstruksi pracetak.

R4.2.3 Desain komponen-komponen pracetak dan sambungan sangat sensitif terhadap toleransi dimensi komponen individual dan lokasinya dalam struktur. Mencegah kesalahfahaman, toleransi yang digunakan dalam desain harus dinyatakan dalam dokumen kontrak. Ketimbang menyatakan toleransi individual, dinyatakan toleransi standar dalam desain. Adalah penting untuk menyatakan deviasi dari standar yang dapat diterima.

Toleransi yang diisyaratkan oleh 7.5 ACI 318-08 dipandang sebagai standar minimum yang dapat diterima untuk penulangan dalam beton pracetak. Dipersilahkan mengacu kepada publikasi dari Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) (Referensi 16.9 hingga Referensi 16.11) sebagai panduan untuk produk industri standar dan toleransi pemasangan. Panduan tambahan diberikan dalam Referensi 16.12.

R4.2.4 Persyaratan tambahan dapat disertakan dalam dokumen kontrak atau gambar kerja, tergantung penugasan dalam tanggung jawab perencanaan.

R4.3 Distribusi gaya-gaya di antara komponen struktur

R4.3.1 Beban terpusat dan beban garis dapat didistribusikan di antara komponen struktur jika komponen struktur memiliki kekakuan torsional yang cukup dan jika geser dapat disalurkan melalui sambungan. Komponen struktur torsional yang sangat kaku seperti

penampang berlubang atau pelat masif memiliki sifat pendistribusian beban yang lebih baik ketimbang komponen-komponen struktur lentur yang memiliki torsional yang lebih fleksibel seperti balok T dobel dengan flens tipis. Distribusi aktual dari beban tergantung kepada berbagai faktor sebagai mana dibahas secara rinci dalam Referensi 16.13 hingga Referensi 16.19. Bukaannya lebar dapat mengakibatkan perubahan besar dalam distribusi gaya-gaya.

R4.3.2 Gaya-gaya sebidang yang terutama timbul dari aksi diafragma dalam lantai dan atap, menimbulkan tarik atau tekan dalam chord dan gesek dalam badan diafragma. Lajur menerus dari baja, penulangan baja, atau keduanya dengan sambungan lewatan, mekanis atau las-lasan, atau konektor mekanis, harus disediakan untuk memikul tarik dalam mana geser dan tekan dipikul oleh penampang besi beton. Lajur menerus baja yang melalui suatu sambungan, mencakup baut, pelat las, pakugeser berkepala, atau alat-alat baja lainnya. Gaya-gaya tarik dalam sambungan harus ditransfer ke penulangan primer dalam komponen struktur.

Gaya-gaya sebidang dalam sistem dinding pracetak terutama ditimbulkan dari reaksi diafragma dan beban-beban lateral luar.

Detail sambungan harus disediakan untuk gaya-gaya dan deformasi akibat susut, rangkai dan pengaruh suhu. Detail sambungan dapat dipilih untuk mengakomodasi perubahan volume dan rotasi yang ditimbulkan oleh gradien suhu dan defleksi jangka panjang. Bila mana efek-efek ini dikekang, sambungan dan komponen struktur harus didesain memiliki kekuatan dan daktilitas yang cukup.

R4.4 Perancangan komponen struktur

R4.4.1 Untuk komponen struktur beton prategang yang tidak melampaui lebar 3,7 m, seperti pelat berlubang, pelat masif, atau pelat dengan rusuk rapat, umumnya tidak perlu untuk menyediakan tulangan transversal untuk memikul tegangan-tegangan susut dan suhu di arah pendek. Hal ini juga umumnya betul untuk pelat lantai dan atap non-prategang. Lebar 3,7 m adalah kurang dari pada lebar dalam mana tegangan-tegangan susut dan suhu dapat mencapai besaran yang memerlukan tulangan transversal. Sebagai tambahan, kebanyakan susut terjadi sebelum komponen struktur disambungkan ke dalam struktur. Sekali disambungkan ke dalam struktur final, komponen-komponen struktur umumnya secara transversal disambungkan tidak sekaku beton monolitik, dengan demikian tegangan kekangan transversal akibat susut dan perubahan suhu direduksi secara nyata.

Pengecualian tidak berlaku terhadap komponen-komponen struktur seperti T tunggal atau dobel dengan flens tipis dan lebar.

R4.4.2 Luas minimum tulangan dinding ini, ketimbang nilai minimum dalam 8.3 (14.3 ACI 318-08), telah digunakan bertahun-tahun dan direkomendasikan oleh PCI^{16,4} dan the Canadian Building Code.¹⁶⁻²⁰ Ketentuan untuk tulangan minimum tereduksi dan spasi lebih besar mengetahui bahwa panel dinding pracetak memiliki kekangan sangat kecil pada tepi selama tahap awal perawatan dan menimbulkan tegangan susut yang kecil dibandingkan dengan dinding cor di tempat yang setara.

R4.5 Integritas struktur

R4.5.1 Ketentuan 4.5.1.1.1 berlaku untuk semua struktur beton pracetak. Pasal-pasal dalam 4.5.1 dan 4.5.2 memberikan persyaratan minimum untuk memenuhi 4.5.1.1.1. Tidak dimaksudkan bahwa persyaratan minimum ini menggantikan ketentuan-ketentuan lainnya yang berlaku dalam Code untuk desain struktur beton pracetak.

Integritas keseluruhan dari suatu struktur dapat dihasilkan secara substansial oleh perubahan kecil dalam jumlah, lokasi dan pendetailan tulangan komponen struktur dan dalam pendetailan perangkat sambungan.

R4.5.1.1 Komponen struktur individual dapat disambungkan ke dalam suatu sistem penahan beban lateral dengan metoda-metoda alternatif. Sebagai contoh, spandrel penahan beban dapat disatukan kepada suatu diafragma (sebagai bagian dari sistem penahan beban lateral). Integritas struktural dapat dicapai dengan menyambungkan spandrel kepada semua atau sebagian komponen struktur dek yang membentuk diafragma. Secara alternatif, spandrel dapat disambungkan hanya kepada kolom penyangga, yang pada gilirannya disambungkan kepada diafragma.

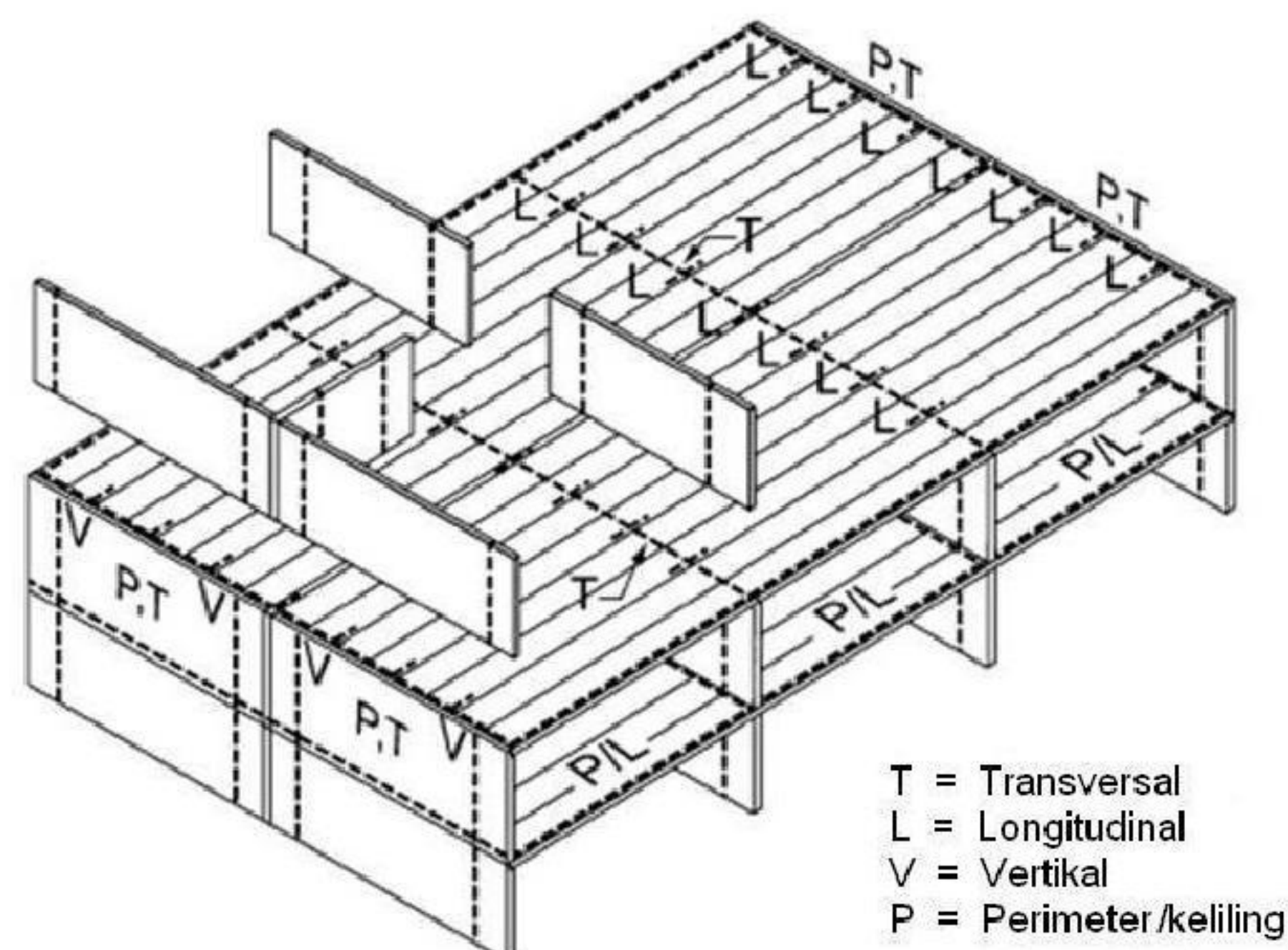
R4.5.1.2 Diafragma secara tipikal disediakan sebagai bagian dari pada sistem penahan beban lateral. Senggang pengikat yang disebutkan dalam 4.5.1.2 merupakan persyaratan minimum dalam penambahan komponen struktur kepada diafragma lantai atau atap. Gaya senggang pengikat ekuivalen dengan nilai beban layan 3 kN/m yang diberikan dalam the Uniform Building Code.

R4.5.1.3 Sambungan dasar dan sambungan-sambungan pada joint horisontal dalam kolom pracetak dan panel dinding pracetak, termasuk dinding geser, didesain menyalurkan seluruh gaya-gaya dan momen-momen desain. Persyaratan senggang pengikat minimum dari 4.5.1.3 tidak bersifat penambahan terhadap persyaratan desain ini. Praktek yang umum adalah dengan menempatkan senggang pengikat dinding simetris terhadap garis pusat vertikal dari panel dinding dan di dalam perempat luar dari pada lebar panel, di mana dimungkinkan.

R4.5.1.4 Dalam hal kejadian kerusakan dari pada suatu balok, adalah penting bahwa perpindahan komponen-komponen struktur pemikul balok diupayakan minimum sehingga komponen-komponen struktur lainnya tidak kehilangan kemampuan dalam memikul beban. Situasi ini menunjukkan kenapa detail sambungan yang hanya mengandalkan friksi akibat beban gravitasi, tidak digunakan. Pengecualian boleh jadi merupakan struktur unit moduler berat (satu sel atau lebih dalam struktur bertipe sel) dalam mana ketahanan terhadap guling atau gelinciran dalam arah yang mana saja, memiliki faktor keamanan yang besar. Diterimanya sistem-sistem yang demikian harus didasarkan atas ketentuan dalam 1.4.

R4.5.2 Ketentuan senggang pengikat minimum untuk integritas struktural bagi struktur dinding pemikul, kerap disebut sebagai struktur panel besar, dimaksudkan untuk menyediakan tumpuan gantungan katenari didalam hal kehilangan tumpuan dinding pemikul, sebagai mana ditunjukkan oleh pengujian.^{16.21} Gaya-gaya yang diinduksikan oleh beban, perubahan suhu, rangkai, dan aksi angin atau seismik boleh jadi membutuhkan gaya senggang pengikat yang lebih besar. Dimaksudkan bahwa ketentuan beton pracetak dalam 4.5.1 berlaku untuk struktur berdinding pemikul yang tingginya kurang dari tiga tingkat.

Senggang pengikat minimum bagi struktur dengan ketinggian tiga tingkat atau lebih, sesuai dengan 4.5.2.1, 4.5.2.2, 4.5.2.3, 4.5.2.4 dan 4.5.2.5, disyaratkan untuk integritas struktur (Gambar R4.5.2). Ketentuan ini didasarkan atas rekomendasi PCI untuk struktur berdinding pemikul beton pracetak.^{16.22} Kekuatan senggang pengikat didasarkan atas kekuatan leleh.



Gambar R4.5.2 – Pengaturan tipik sengkang pengikat tarik pada struktur panel besar

R4.5.2.1 Sengkang pengikat longitudinal dapat diproyeksikan dari pelat dan dapat disambung lewatkan, dilas, atau disambung secara mekanis, atau dapat ditanam dalam joint grout, dengan panjang dan penutup yang cukup untuk mengembangkan gaya yang diperlukan. Panjang lekatan untuk baja prategang tanpa tegangan harus cukup untuk mengembangkan kekuatan leleh.^{16.23} Bukan tidak umum untuk menempatkan sengkang pengikat dalam dinding cukup dekat terhadap sistem lantai atau atap.

R4.5.2.3 Sengkang pengikat transversal dapat berjarak seragam, terbungkus dalam panel atau dalam topping, atau dapat dikonsentrasikan pada dinding pemikul transversal.

R4.5.2.4 Persyaratan sengkang pengikat perimeter tidak perlu aditif terhadap persyaratan sengkang pengikat longitudinal dan transversal.

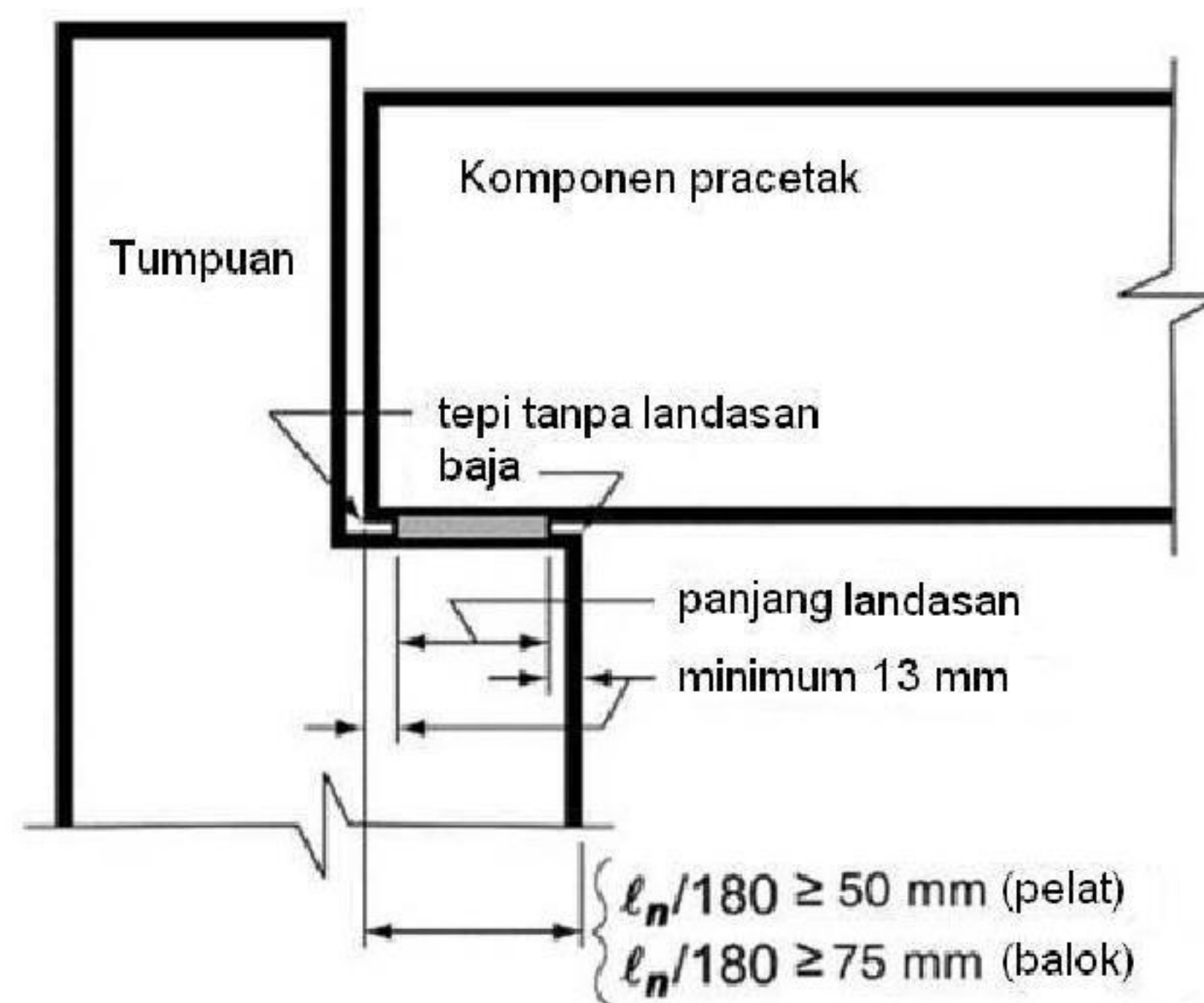
R4.6 Desain sambungan dan tumpuan

R4.6.1 Peraturan memperkenankan penerapan berbagai metoda dalam menyambungkan komponen-komponen struktur. Ini ditujukan untuk menyalurkan gaya-gaya baik dalam bidang maupun tegak lurus bidang komponen struktur.

R4.6.1.2 Berbagai komponen dalam suatu sambungan (seperti baut, las, pelat, dan isian) memiliki properti berbeda-beda yang dapat mempengaruhi perilaku sambungan.

R4.6.2.1 Jika gaya-gaya tarik terjadi dalam bidang tumpuan, boleh jadi lebih diinginkan mereduksi tegangan tumpuan ijin, asalkan digunakan tulangan pengekan. Panduan diberikan dalam Referensi 16.4.

R4.6.2.2 Pasal ini membedakan antara panjang tumpuan dan panjang ujung komponen struktur pracetak di atas tumpuan (Gambar R4.6.2). Tapal tumpuan mendistribusikan gaya-gaya terpusat dan reaksi-reaksi atas permukaan tumpuan, dan mengijinkan terjadinya gerakan horisontal dan rotasional dalam mengurangi tegangan. Untuk mencegah terjadinya *spalling* pada permukaan tumpuan yang terbebani berat, tapal tumpuan tidak diteruskan ke tepi tumpuan kecuali jika tepi diberi perlengkapan. Tepi bisa dilengkapi dengan pelat baja terangkur atau siku. Pasal 11.9.7 ACI 318-08 memberikan persyaratan untuk tumpuan pada braket atau korbel.



Gambar R4.6.2 - Panjang landasan

R4.6.2.3 Perlu untuk mengembangkan momen lentur positif di luar ujung elemen pracetak jika sistem merupakan sistem yang statis tidak tentu. Toleransi perlu dipertimbangkan untuk menghindari tumpuan pada beton polos struktural dalam mana tulangan telah diputus.

R4.7 Benda-benda yang ditanam sesudah pengecoran beton

R4.7.1 Pasal 4.7.1 merupakan pengecualian terhadap ketentuan 7.5.1 ACI 318-08. Banyak produk-produk pracetak dimanufaktur sedemikian hingga sulit, jika bukan tidak mungkin, menempatkan tulangan yang menyebar dari beton sebelum dicor. Benda-benda yang demikian, seperti sengkang pengikat untuk geser horisontal dan sisipan dapat ditempatkan ketika beton masih dalam keadaan plastis, jika kehati-hatian yang seksama diberikan. Pengecualian ini tidak berlaku untuk tulangan yang ditanam seluruhnya, atau kepada benda-benda tertanam yang akan dikaitkan atau diikatkan kepada tulangan tertanam.

R4.9 Penanganan

R4.9.1 Code mensyaratkan kinerja yang dapat diterima pada beban layan dan kekuatan yang cukup di bawah beban terfaktor. Namun, beban-beban akibat penanganan tidak boleh menimbulkan tegangan, regangan, retak, atau defleksi permanen yang tidak konsisten dengan Code. Suatu komponen struktur pracetak tidak boleh ditolak hanya karena retak kecil atau spalling dalam mana kekuatan dan durabilitas tidak terganggu. Panduan mengenai asesmen retak diberikan dalam laporan PCI mengenai retak fabrikasi dan pengiriman.^{16.24,16.25}

R4.9.2 Semua sambungan, bresing dan topangan ereksi sementara dan juga urutan pembongkaran, ditunjukkan dalam kontrak atau gambar pemasangan.

R4.10 Evaluasi kekuatan konstruksi pracetak

Prosedur evaluasi kekuatan Bab 20 ACI 318-08 berlaku untuk komponen-komponen pracetak.

R5.1 Ruang lingkup

R5.1.1 Ruang lingkup Bab 5 diperuntukkan bagi semua tipe komponen lentur beton komposit. Dalam beberapa kasus dengan beton cor di tempat penuh, kemungkinan perlu untuk mendesain sambungan dari pada pengecoran beton yang berturutan sebagai komponen struktur komposit. Komponen struktur baja-beton struktural komposit tidak dicakup dalam bab ini. Ketentuan desain bagi komponen struktur komposit yang demikian dicakup dalam Referensi 17.1.

R5.2 Umum

R5.2.4 Pengujian-pengujian telah menunjukkan bahwa kekuatan dari suatu komponen struktur komposit adalah sama baik jika elemen coran pertama ditopang atau tidak selama pengecoran dan perawatan dari elemen kedua.

R5.2.6 Ekstensi retak tergantung kepada berbagai faktor seperti lingkungan, estetika dan penghunian. Sebagai tambahan, aksi komposit tidak boleh dipengaruhi.

R5.2.7 Beban prematur dari elemen pracetak dapat menimbulkan defleksi rangkai dan susut yang berlebihan. Hal ini terjadi, khususnya dalam umur awal dalam mana kadar lembab tinggi dan kekuatan masih rendah.

Penyaluran geser melalui lekatan langsung adalah penting untuk mencegah defleksi berlebihan akibat selip. Kunci geser merupakan faktor keamanan mekanis tambahan namun hal ini belum bekerja hingga selip terjadi.

R5.3 Penopangan

Ketentuan dalam 9.5.5 ACI 318-08 mencakup persyaratan yang berkaitan dengan defleksi komponen tertopang atau tidak tertopang.

R5.5 Kekuatan geser horisontal

R5.5.1 Penyaluran penuh geser horisontal antara segmen-segmen komponen komposit harus dijamin dengan kekuatan geser horisontal pada bidang kontak atau sengkang pengikat yang diangkurkan dengan seksama, atau keduanya.

R5.5.2 Komponen-komponen struktur prategang yang digunakan dalam konstruksi komposit dapat bervariasi dalam kedalaman tulangan tarik sepanjang komponen struktur akibat lenturan atau depresi tendon. Akibat variasi ini, definisi dari d yang digunakan dalam Bab 11 ACI 318-08 dalam penentuan kekuatan geser vertikal juga berlaku pada saat menentukan kekuatan geser horisontal.

R5.5.3 Kekuatan geser horisontal nominal V_{nh} berlaku untuk desain yang didasarkan atas faktor-faktor beban dan faktor-faktor ϕ dari Bab 9 ACI 318-08.

R5.5.3.3 Kekuatan geser horisontal yang diijinkan dan persyaratan amplitudo 6 mm dari kekasaran yang disengaja, didasarkan atas pengujian-pengujian yang dibahas dalam Referensi 17.2 hingga 17.4.

R5.5.4.1 Distribusi tegangan-tegangan geser horisontal sepanjang bidang kontak dalam komponen struktur komposit akan mencerminkan distribusi geser sepanjang komponen struktur. Keruntuhan geser horisontal akan dimulai pada lokasi terjadinya tegangan geser horisontal yang maksimum dan akan menyebar ke daerah tegangan rendah. Karena selip pada perlawanan geser horisontal puncak cukup kecil untuk kasus bidang kontak beton-ke-

beton, redistribusi longitudinal dari perlawanan geser horisontal sangat terbatas. Spasi sengkang pengikat sepanjang bidang kontak harus diambil sedemikian hingga menyediakan perlawanan geser horisontal yang terdistribusi sebagaimana aksi geser dalam komponen struktur didistribusikan.

R5.5.5 Pengangkuran yang seksama dari sengkang pengikat yang diteruskan melewati bidang kontak dibutuhkan untuk memelihara kontak pada bidang kontak.

R5.6 Sengkang pengikat untuk geser horisontal

Luas minimum dan spasi maksimum didasarkan atas data pengujian yang disajikan dalam Referensi 17.2 hingga 17.6.

R6.1 Ruang lingkup

R6.1.1 Ketentuan dalam Bab 6 disusun terutama untuk komponen struktural seperti pelat, balok dan kolom yang umum digunakan dalam bangunan gedung. Banyak dari ketentuan-ketentuan ini dapat diterapkan kepada tipe konstruksi lain, seperti bejana bertekanan, perkerasan, pipa, dan ikatan silang. Penerapan dari ketentuan-ketentuan ini terpulang kepada kebijaksanaan dari perancang profesional berlisensi bila mana tidak spesifik dinyatakan dalam Code.

R6.1.3 Beberapa pasal peraturan ini dikecualikan dari penggunaan dalam desain beton prategang demi alasan spesifik. Bahasan berikut ini memberikan keterangan mengenai pengecualian tersebut.

Pasal 6.4.4 ACI 318-08 – Tendon balok dan pelat pasca-tarik menerus biasanya diprategang pada suatu titik di sepanjang bentang di mana profil tendon berada pada atau di dekat titik pusat penampang beton. Karena itu, joint konstruksi interior umumnya ditempatkan dalam sepertiga ujung bentang, ketimbang tengah sepertiga bentang seperti disyaratkan oleh 6.4.4 ACI 318-08. Joint konstruksi yang ditempatkan sebagai mana dinyatakan dalam balok dan pelat pasca-tarik menerus mempunyai sejarah panjang mengenai penampilan yang memuaskan. Dengan demikian, 6.4.4 ACI 318-08 dikecualikan dalam penerapan kepada beton prategang.

Pasal 7.6.5 ACI 318-08 – Pasal 7.6.5 ACI 318-08 dikecualikan dari penerapan terhadap beton prategang karena persyaratan untuk tulangan lekatan dan tendon tanpa lekatan untuk komponen cor ditempat masing-masing dicantumkan dalam 6.9 dan 6.12.

Pasal 8.12.2, 8.12.3 dan 8.12.4 ACI 318-08 – Ketentuan empiris dari pasal-pasal ini untuk balok T dikembangkan untuk beton bertulang non-prategang, dan jika diterapkan terhadap beton prategang akan mengecualikan banyak produk-produk prategang standar yang sekarang ini digunakan secara memuaskan. Jadi pembuktian melalui pengalaman memperkenankan variasi.

Dengan mengecualikan 8.12.2, 8.12.3 dan 8.12.4 ACI 318-08, tidak ada persyaratan khusus untuk balok T beton prategang muncul dalam peraturan. Ketimbang hal itu, penentuan lebar efektif flens diserahkan kepada pengalaman dan kearifan daripada perancang profesional berlisensi. Di mana mungkin, lebar flens dalam 8.12.2, 8.12.3 dan 8.12.4 ACI 318-08 harus digunakan kecuali pengalaman menunjukkan bahwa variasi adalah aman dan memuaskan. Tidak perlu merupakan hal yang konservatif dalam analisis elastis dan pertimbangan desain menggunakan lebar flens maksimum sebagai mana diperkenankan oleh 8.12.2 ACI 318-08.

Pasal 8.12.1 dan 8.12.5 ACI 318-08 memberikan persyaratan umum untuk balok T yang juga berlaku untuk komponen struktur beton prategang. Pembatasan spasi untuk tulangan pelat didasarkan atas tebal flens, yang untuk flens mengecil dapat diambil sebagai tebal rata-rata.

Pasal 8.13 ACI 318-08 – Batas-batas empiris yang ditetapkan untuk lantai berusuk beton betulang non-prategang didasarkan atas penampilan sukses masa lalu konstruksi berusuk yang menggunakan sistem tuangan berusuk standar. Lihat R8.13 ACI 318-08. Untuk konstruksi berusuk prategang, pengalaman dan kearifan harus digunakan. Ketentuan 8.13 ACI 318-08 dapat digunakan sebagai panduan.

Pasal 10.5, 10.9.1, dan 10.9.2 ACI 318-08 – Untuk beton prategang, batasan penulangan dalam 10.5, 10.9.1, dan 10.9.2 ACI 318-08 digantikan oleh persyaratan 6.8.3, 6.9 dan 6.11.2.

Pasal 10.6 ACI 318-08 – Pasal ini tidak berlaku terhadap komponen struktur prategang secara keseluruhan. Tetapi, 10.6.4 dan 10.6.7 ACI 318-08 diacu dalam 6.4.4 dalam kaitan komponen struktur lentur prategang Kelas C.

Bab 13 ACI 318-08 – Perancangan pelat beton prategang menerus membutuhkan kesadaran adanya momen sekunder. Juga, perubahan volume yang disebabkan gaya prategang dapat menimbulkan beban tambahan pada struktur yang tidak cukup dicakup dalam Bab 13 ACI 318-08. Karena sifat unik yang berkaitan dengan prategang, banyak prosedur perancangan dalam Bab 13 ACI 318-08 tidak tepat untuk struktur beton prategang, dan digantikan oleh ketentuan dalam 6.12.

Pasal 14.5 dan 14.6 ACI 318-08 – Persyaratan untuk perancangan dinding dalam 8.5 dan 8.6 kebanyakan berdasarkan empiris, dengan menggunakan pertimbangan yang tidak bermaksud untuk diterapkan terhadap beton prategang.

R6.2 Umum

R6.2.1 dan R6.2.2 Investigasi desain harus mencakup semua tahap yang kemungkinan penting. Tiga tahap utama adalah: (1) tahap penarikan, atau tahap penyaluran prategang – ketika gaya tarik dalam baja prategang disalurkan kepada beton dan tingkat tegangan kemungkinan tinggi relatif terhadap kekuatan beton; (2) tahap beban layan – setelah terjadinya perubahan volume jangka panjang; dan (3) tahap beban terfaktor – bila mana kekuatan komponen struktur diperiksa. Kemungkinan ada tahap pembebanan lain yang membutuhkan pemeriksaan. Sebagai contoh, jika beban retak signifikan, tahap pembebanan ini boleh jadi memerlukan studi, atau tahap penanganan dan pengangkutan juga kritis.

Dari sudut pandang perilaku yang memuaskan, dua tahap yang terpenting adalah tahap beban layan dan beban terfaktor.

Tahap beban layan berkaitan dengan beban-beban yang didefinisikan dalam peraturan pembebanan (tanpa faktor-faktor beban), seperti beban hidup dan beban mati, sementara tahap beban terfaktor merujuk kepada beban-beban dikalikan dengan masing-masing faktor.

Pasal 6.3.2. memberikan beberapa asumsi yang dapat digunakan dalam investigasi pada beban layan dan setelah penyaluran gaya prategang.

R6.2.5 Pasal 6.2.5 mengacu kepada tipe pasca tarik dalam mana baja prategang berada dalam kontak yang selang-seling dengan selongsong yang kebesaran. Perhatian harus diberikan untuk mencegah terjadinya tekuk dalam komponen yang demikian.

Jika baja prategang berada dalam kontak yang menerus dengan komponen yang diprategang, atau dipasang sebagai tanpa lekatan dengan selongsong yang tidak terlalu

lebih besar dari baja prategang, tekuk tidak mungkin terjadi pada komponen struktur pada saat pemberian gaya prategang.

R6.2.6 Dalam meninjau luas dari pada selongsong terbuka, penampang kritis harus mencakup penampang yang memiliki selaput dobel yang kemungkinan lebih besar dari selongsong yang berisikan baja prategang. Juga dalam beberapa kejadian, *bentuk terompet* atau bagian transisi dari konduit hingga angkur kemungkinan dalam ukuran yang menimbulkan suatu penampang kritis. Jika pengaruh dari luas bukaan selongsong atas desain kemungkinan dapat diabaikan, properti penampang dapat didasarkan atas luas total.

Dalam komponen pasca tarik setelah grouting, dan dalam komponen pratarik, sifat penampang dapat didasarkan atas penampang efektif dengan luas transformatif baja prategang dengan lekatan dan penampang bruto besi tulangan non-prategang, atau penampang neto.

R6.3 Asumsi desain

R6.3.3 Pasal ini mendefinisikan tiga kelas perilaku komponen struktur lentur prategang. Komponen struktur Kelas U diasumsikan berperilaku sebagai komponen struktur tanpa retak. Komponen struktur Kelas C diasumsikan berperilaku sebagai komponen struktur dengan retak. Perilaku komponen struktur Kelas T diasumsikan sebagai transisi dari komponen struktur tidak retak dan dengan retak. Persyaratan kelayakan untuk masing-masing kelas dirangkum dalam Tabel R6.3.3. Sebagai perbandingan, tabel juga menunjukkan persyaratan yang berkaitan dengan komponen struktur non-prategang.

Kelas-kelas ini berlaku terhadap komponen struktur lentur prategang dengan atau tanpa lekatan, namun sistem pelat dua arah prategang harus didesain sebagai Kelas U.

Zona tarik pratekan merupakan bagian dari suatu komponen struktur prategang dalam mana akan terjadi tarik lentur yang dihitung berdasarkan sifat penampang bruto di bawah beban mati dan beban hidup tidak terfaktor dalam absennya gaya prategang. Beton prategang umumnya didesain sedemikian hingga gaya prategang menimbulkan tekanan kepada zona ini, sehingga secara efektif mengurangi besarnya tegangan tarik.

Tabel R6.3.3 Persyaratan Desain Kemampuan Layan

	Prategang			Non-prategang
	Kelas U	Kelas T	Kelas C	
Perilaku asumsi	Tanpa-retak	Transisi antara tanpa-retak dan retak	Retak	Retak
Properti penampang untuk penghitungan tegangan pada beban layan	Penampang bruto 6.3.4	Penampang bruto 6.3.4	Retak pasal 6.3.4	Tidak ada persyaratan
Tegangan yang diijinkan ditransfer	6.4.1	6.4.1	6.4.1	Tidak ada persyaratan
Tegangan tekan yang diijinkan didasarkan properti penampang tanpa-retak	6.4.2	6.4.2	Tidak ada persyaratan	Tidak ada persyaratan
Tegangan tarik pada beban layan 6.3.3	$\leq 0,62\sqrt{f'_c}$	$0,62\sqrt{f'_c} < f_t \leq \sqrt{f'_c}$	Tidak ada persyaratan	Tidak ada persyaratan
Dasar penghitungan defleksi	9.5.4.1 ACI 318-08 Penampang bruto	9.5.4.2 ACI 318-08 Penampang retak, bilinear	9.5.4.2 ACI 318-08 Penampang retak, bilinear	9.5.2, 9.5.3 ACI 318-08 Momen inersia efektif
Kontrol retak	Tidak ada persyaratan	Tidak ada persyaratan	10.6.4 ACI 318-08 Dimodifikasi oleh 6.4.4.1	10.6.4 ACI 318-08
Penghitungan Δf_{ps} atau f_s untuk kontrol retak	-	-	Analisis penampang retak	$M / (A_s \times \text{lengan tuas})$, atau $0,6 f_y$
Penulangan selimut sisi	Tidak ada persyaratan	Tidak ada persyaratan	10.6.7 ACI 318-08	10.6.7 ACI 318-08

R6.3.4 Suatu metoda perhitungan tegangan-tegangan dalam penampang retak disajikan dalam Referensi 18.1.

R6.3.5 Referensi 18.2 menyajikan informasi mengenai perhitungan defleksi komponen struktur dengan retak.

R6.4 Persyaratan kemampuan layan – Komponen struktur lentur

Tegangan-tegangan ijin dalam beton melambangkan kemampuan layan. Tegangan-tegangan ijin tidak menjamin kecukupan kekuatan struktural, hal mana perlu diperiksa kesesuaiannya dengan persyaratan peraturan-peraturan lainnya.

R6.4.1 Tegangan-tegangan beton pada tahap ini ditimbulkan oleh gaya dalam baja prategang pada transfer yang tereduksi oleh kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis beton, relaksasi baja prategang, dudukan transfer, dan tegangan-tegangan akibat berat komponen struktur. Umumnya, pengaruh susut dan rangkai tidak disertakan pada tahap ini. Tegangan-tegangan ini berlaku untuk beton pratarik maupun pasca tarik dengan modifikasi seperlunya atas kehilangan tegangan pada saat transfer. Tegangan transfer tekan pada ujung-ujung komponen struktur tertumpu sederhana dinaikkan dari $0,60f'_{ci}$ menjadi $0,70f'_{ci}$ dalam ACI 318-08 untuk merefleksikan penelitian dalam praktek industri beton pracetak, prategang. ^{18.3-18.5}

R6.4.1(c) Batas tegangan tarik $0,25\sqrt{f'_{ci}}$ dan $0,50\sqrt{f'_{ci}}$ merujuk kepada tegangan tarik pada lokasi-lokasi selain zona tarik prakompresi. Bila tegangan-tegangan tarik melampaui nilai-nilai yang diijinkan, gaya total dalam zona tegangan tarik dapat dihitung dan tulangan diproporsikan berdasarkan gaya ini pada level tegangan $0,6f_y$, tetapi tidak melampaui 210 MPa. Pengaruh rangkai dan susut mulai mereduksi tegangan tarik seketika; namun, sebagian gaya tarik sisa dalam daerah ini setelah pengurangan semua kehilangan prategang.

R6.4.2 (a) dan (b) Batas tegangan tekan $0,45f'_c$ ditentukan secara konservatif untuk menurunkan probabilitas keruntuhan komponen struktur beton prategang akibat beban berulang. Batas ini kelihatannya layak dalam mengesampingkan deformasi rangkai yang berlebihan. Pada nilai tegangan yang lebih tinggi, regangan rangkai cenderung meningkat secara tajam seiring dengan peningkatan tegangan.

Perubahan dalam tegangan ijin dalam ACI 318-95 memahami bahwa pengujian fatik balok-balok beton prategang menunjukkan bahwa keruntuhan beton tidak merupakan kriteria penentu. Desain dengan beban hidup transien yang besar dibandingkan terhadap beban-beban tetap hidup dan mati telah dipenalti oleh batas tegangan tekan tunggal yang berlaku sebelumnya. Karena itu, batas tegangan $0,60f'_c$ mengijinkan peningkatan sepertiga dalam tegangan tekan ijin untuk komponen-komponen struktur dengan beban-beban transien.

Beban hidup tetap merupakan bagian tertentu dari beban hidup layan yang akan bekerja menetap dalam perioda yang cukup untuk menimbulkan defleksi signifikan yang tergantung kepada waktu. Yang demikian, bila beban-beban tetap hidup dan mati merupakan bagian persentasi yang besar dari beban layan total, batas $0,45f'_c$ dalam 6.4.2 (a) boleh jadi akan menentukan. Di pihak lain, bila sebagian besar beban layan total merupakan beban hidup layan sementara atau transien, peningkatan batas tegangan dalam 6.4.2 (b) berlaku.

Batas tekan $0,45f'_c$ untuk prategang ditambah beban tetap akan terus menentukan perilaku jangka panjang komponen-komponen struktur prategang.

R6.4.3 Pasal ini memberikan suatu mekanisme dimana dalam perkembangan produk-produk, material dan teknologi yang baru dalam konstruksi beton prategang tidak perlu diatur oleh peraturan pembatasan tegangan. Persetujuan atas desain harus dilakukan menurut 1.4.

R6.4.4 Persyaratan spasi untuk komponen prategang dengan tegangan tarik terhitung yang melebihi $1,0\sqrt{f'_c}$ diperkenalkan dalam edisi ACI 318-02.

Untuk kondisi lingkungan yang korosif, yang didefinisikan sebagai lingkungan yang dihadapkan dengan pengaruh kimiawi (seperti air laut, atmosfir industri yang korosif, atau uap selokan), harus digunakan selimut beton yang lebih besar dari yang diisyaratkan oleh 7.7.2 ACI 318-08, dan tegangan-tegangan tarik dalam beton direduksi untuk mengeliminir kemungkinan retak pada tahap beban layan. Pertimbangan arif perlu digunakan untuk menentukan besar penambahan selimut beton dan apakah dibutuhkan reduksi tegangan tarik.

R6.4.4.1 Hanya baja tarik yang terdekat kepada sisi tarik yang perlu disertakan dalam pemilihan nilai dari c_c untuk perhitungan kebutuhan spasi. Untuk perhitungan baja prategang, seperti strand, yang memiliki karakteristik lekatan yang kurang efektif dibandingkan besi tulangan berprofil, digunakan faktor efektifitas 2/3.

Untuk komponen-komponen pasca tarik yang didesain sebagai komponen retak, umumnya akan menguntungkan jika menggunakan control retakan dengan menggunakan besi tulangan berprofil, untuk mana ketentuan 10.6 ACI 318-08 dapat diterapkan secara langsung. Tulangan lekatan yang disyaratkan oleh ketentuan lain dalam peraturan ini juga dapat digunakan sebagai tulangan kontrol retak.

R6.4.4.2 Adalah konservatif mengambil tegangan dekompresi f_{dc} sama dengan f_{se} , yaitu tegangan efektif dalam baja prategang.

R6.4.4.3 Limitasi maksimum 250 MPa untuk Δf_{ps} dan pengecualian untuk komponen-komponen dengan Δf_{ps} yang kurang dari 140 MPa dimaksudkan agar serupa dengan persyaratan dalam edisi peraturan sebelum 2002.

R6.4.4.4 Luas besi tulangan, tendon dengan lekatan, atau kombinasi keduanya dapat digunakan untuk memenuhi persyaratan ini.

R6.5 Tegangan ijin dalam baja prategang

Peraturan tidak membedakan tegangan baja prategang sementara dan efektif. Hanya digunakan satu baris dalam tegangan baja prategang karena tegangan awal baja prategang (segera setelah transfer) dapat muncul pada waktu yang cukup lama, bahkan sesudah struktur telah memasuki masa layan. Karenanya, tegangan ini harus memiliki faktor keamanan yang cukup di bawah kondisi layan dan tidak dapat dipandang sebagai tegangan temporer. Perkurangan setelahnya dalam tegangan baja prategang akibat kehilangan prategang hanya dapat memperbaiki kondisi dan tidak ada batas perkurangan tegangan yang demikian dicantumkan dalam peraturan.

R6.5.1 Dengan peraturan 1983, tegangan-tegangan ijin dalam baja prategang direvisi untuk memperhitungkan kekuatan leleh yang lebih tinggi dalam kawat dan strand berelaksasi rendah serta yang memenuhi persyaratan ASTM A421M dan A416M. Untuk baja prategang yang demikian, lebih layak untuk menyatakan tegangan-tegangan ijin dalam terminologi kekuatan leleh minimum menurut spesifikasi ASTM ketimbang kekuatan tarik minimum menurut spesifikasi ASTM. Untuk kawat dan strand berelaksasi rendah, dengan f_{py} yang sama dengan $0,90f_{pu}$, batas $0,94f_{py}$ dan $0,82f_{py}$ masing-masing ekuivalen dengan $0,85f_{pu}$ dan $0,74f_{pu}$. Dalam suplemen tahun 1986 dan peraturan tahun 1989, tegangan jack maksimum baja prategang berelaksasi rendah, direduksi menjadi $0,80f_{pu}$ untuk menjamin kompatibilitas yang lebih tepat dengan nilai tegangan baja prategang maksimum $0,74f_{pu}$ segera setelah transfer prategang. Kekuatan leleh baja prategang berelaksasi rendah yang lebih tinggi tidak merubah efektifitas alat angkut tendon; dengan demikian, tegangan ijin pada alat dan kopel angkut pasca tarik tidak meningkat di atas nilai $0,74f_{pu}$ yang diijinkan sebelumnya. Untuk baja prategang biasa (kawat, strand dan batang), dengan f_{py} yang sama dengan $0,85f_{pu}$, batas $0,94f_{py}$ dan $0,82f_{py}$ masing-masing ekuivalen dengan $0,80f_{pu}$ dan $0,70f_{pu}$, sama dengan yang diijinkan dalam peraturan tahun 1977. Untuk baja prategang batang dengan f_{py} yang sama dengan $0,80f_{pu}$, batas-batas yang sama masing-masing ekuivalen dengan $0,75f_{pu}$ dan $0,66f_{pu}$.

Karena sejak tahun 1983, peraturan-peraturan memperkenankan tegangan-tegangan awal ijin baja prategang yang lebih tinggi, tegangan-tegangan akhir boleh jadi akan lebih besar.

Struktur yang dihadapkan kepada kondisi korosif atau beban berulang patut lebih dicermati dalam penentuan batas pada tegangan akhir.

R6.6 Kehilangan prategang

R6.6.1 Sebagai penjelasan bagai mana menghitung kehilangan prategang, lihat Referensi 18.6 hingga 18.9. Nilai kelompok dari kehilangan-kehilangan prategang untuk komponen pratarik dan juga pasca tarik yang diindikasikan dalam komentari peraturan sebelum tahun 1983 dianggap tidak berlaku lagi. Estimasi yang cukup akurat dalam kehilangan-kehilangan prategang dapat dihitung menurut rekomendasi dalam Referensi 18.9, yang menyertakan pertimbangan level tegangan awal ($0,70f_{pu}$ atau lebih), tipe baja (kawat, strand atau batang bebas tegangan atau berelaksasi rendah), kondisi terbuka, dan tipe konstruksi (pratarik, pasca tarik dengan lekatan atau tanpa lekatan).

Kehilangan prategang sebenarnya, apakah lebih besar atau lebih kecil dari nilai-nilai hasil perhitungan, berpengaruh kecil atas kekuatan desain komponen, namun mempengaruhi perilaku beban layan (defleksi, lawan lendut, beban retak) dan sambungan. Pada beban layan, penaksiran kehilangan prategang yang berlebihan boleh jadi separah penaksiran yang kurang, karena yang terakhir ini dapat menimbulkan camber dan pergerakan horizontal yang berlebihan.

R6.6.2 Kehilangan akibat friksi pada tendon pasca tarik

Koefisien-koefisien dalam Tabel R6.6.2 memberikan kisaran yang secara umum diharapkan. Karena besarnya jumlah tipe duct dan selubung baja prategang yang tersedia, nilai-nilai ini hanya bersifat sebagai panduan. Jika digunakan konduit kaku, nilai koefisien wobble K dapat diambil nol. Untuk baja prategang berdiameter besar dalam konduit bertipe semi kaku, nilai faktor K juga dapat diambil nol. Nilai-nilai yang akan digunakan untuk tipe-tipe baja prategang dan ducting harus diperoleh dari produsen tendon. Evaluasi kehilangan friksi yang rendah secara tidak realistis dapat mengakibatkan camber komponen yang tidak layak dan prategang yang tidak cukup. Penaksiran friksi yang berlebihan dapat berakibat gaya prategang ekstra. Ini dapat mengakibatkan camber dan perpendekan komponen yang berlebihan. Jika faktor-faktor friksi ditentukan lebih kecil dari pada yang diasumsikan dalam desain, penegangan tendon harus disesuaikan untuk menghasilkan gaya prategang pada bagian kritis struktur sebagai mana dinyatakan dalam desain.

Tabel R6.6.2 Koefisien friksi untuk tendon pasca-tarik untuk digunakan pada Persamaan (14) atau Persamaan (15)

		Koefisien wobble, K per meter	Koefisien kelengkungan, μ_p Per radian
Tendon digROUT pada metal pelapis		Tendon kawat	0,0033 - 0,0049
		Batang tulangan kekuatan tinggi	0,0003 - 0,0020
		Strand 7 kawat	0,0016 - 0,0066
Tendon tanpa lekatan	Dilapis plastik (Mastic)	Tendon kawat	0,0033 - 0,0066
		Strand 7 kawat	0,0033 - 0,0066
	Diminyaki sebelumnya (Pre-greased)	Tendon kawat	0,0010 - 0,0066
		Strand 7 kawat	0,0010 - 0,0066

R6.6.2.3 Bila keamanan atau kemampuan layan struktur dilibatkan, rentang yang dapat diterima dalam gaya-gaya jacking baja prategang atau persyaratan batas lainnya harus

diberikan atau disetujui oleh perencana profesional berlisensi sesuai dengan tegangan-tegangan ijin dalam 6.4 dan 6.5.

R6.7 Kekuatan lentur

R6.7.1 Kekuatan momen desain dari komponen-komponen lentur prategang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kekuatan yang serupa dengan yang berlaku untuk komponen beton non-prategang. Peraturan tahun 1983 memberikan persamaan kekuatan untuk penampang persegi dan penampang dengan flens, dengan tulangan tarik saja dan dengan tulangan tarik dan tekan. Jika bagian baja prategang berada dalam zona tekan, harus digunakan metoda yang didasarkan atas kondisi keseimbangan dan kompatibilitas regangan yang tersedia pada kondisi beban terfaktor.

Untuk penampang lainnya, kekuatan momen rencana ϕM_n dihitung dengan analisis berdasarkan kompatibilitas tegangan dan regangan, dan dengan sifat hubungan tegangan-regangan baja prategang dan asumsi yang diberikan dalam 10.2 ACI 318-08.

R6.7.2 Persamaan (16) boleh jadi menaksir kurang kekuatan balok-balok dengan persentase tulangan yang tinggi dan untuk evaluasi kekuatan yang lebih teliti, harus digunakan metoda kompatibilitas regangan dan keseimbangan. Penggunaan Persamaan (16) tepat jika semua baja prategang berada dalam zona tarik. Jika sebagian baja prategang berada dalam zona tekan, harus digunakan metoda kompatibilitas regangan dan keseimbangan.

Dengan pengikut sertaan ω' , Persamaan (16) merefleksikan peningkatan nilai f_{ps} yang diperoleh jika digunakan tulangan tekan dalam balok dengan indeks tulangan yang besar. Jika unsur dalam Persamaan (16) bernilai kecil, kedalaman sumbu netral kecil, tulangan tekan tidak mencapai kekuatan leleh, dan Persamaan (16) menjadi tidak konservatif. Inilah alasan kenapa unsur $[\rho_p(f_{pu}/f'_c) + (d/d_p)(\omega - \omega')]$ dalam Persamaan (16) tersebut tidak boleh diambil kurang dari 0,17 jika tulangan tekan disertakan sewaktu menghitung f_{ps} . Jika tulangan tekan diabaikan dalam penerapan Persamaan (16), ω' diambil nol, maka unsur $[\rho_p(f_{pu}/f'_c) + (d/d_p)\omega]$ kemungkinan kurang dari 0,17 dan diperoleh nilai f_{ps} yang bertambah dan tepat.

Jika d' besar, regangan dalam tulangan tekan boleh jadi sangat lebih kecil dari regangan leleh. Dalam kasus yang demikian, tulangan tekan tidak mempengaruhi f_{ps} sebanyak yang disiratkan oleh Persamaan (16). Demi alasan ini, penerapan Persamaan (16) dibatasi kepada balok-balok dengan nilai d' menjadi lebih kecil atau sama dengan $0,15d_p$.

Unsur $[\rho_p(f_{pu}/f'_c) + (d/d_p)(\omega - \omega')]$ dalam Persamaan (16) juga dapat dituliskan dalam bentuk $[\rho_p(f_{pu}/f'_c) + A_s f_y / (bd_p f'_c) - A'_s f_y / (bd_p f'_c)]$. Bentuk ini boleh jadi lebih memudahkan, khususnya jika tidak ada tulangan tarik non-prategang.

Persamaan (18) mencerminkan hasil-hasil pengujian komponen-komponen dengan tendon tanpa lekatan dan rasio bentang terhadap ketinggian yang melampaui 35 (pelat satu arah, pelat datar, dan slab).^{18,10} Pengujian-pengujian ini juga mengindikasikan bahwa Persamaan (17), yang sebelumnya diterapkan untuk semua rasio bentang: tinggi, menaksir lebih peningkatan tegangan dalam komponen seperti itu. Sekalipun pengujian-pengujian yang sama ini mengindinasikan bahwa kekuatan momen dari komponen rendah yang didesain dengan Persamaan (17) memenuhi persyaratan kekuatan beban terfaktor, ini mencerminkan

pengaruh dari persyaratan peraturan untuk tulangan lekatan minimum, dan juga pembatasan dalam tegangan tarik beton yang sering menentukan besar gaya prategang yang diperlukan.

R6.8 Batasan tulangan pada komponen lentur struktur

R6.8.1 Batas-batas regangan tarik netto untuk penampang tekan-kontrol dan tarik-kontrol yang diberikan dalam 10.3.3 ACI 318-08 dan 10.3.4 ACI 318-08 berlaku untuk penampang prategang. Ketentuan-ketentuan ini menggantikan batas-batas tulangan maksimum yang digunakan dalam peraturan tahun 1999.

Batas-batas regangan tarik netto untuk penampang tarik-kontrol dalam 10.3.4 ACI 318-08 juga dapat dinyatakan dalam ω_p seperti dalam peraturan tahun 1999 dan edisi sebelumnya.

Batas regangan tarik netto 0,005 sesuai dengan $\omega_p = 0,32\beta_1$ untuk penampang persegi prategang.

R6.8.2 Ketentuan ini merupakan aba-aba terhadap keruntuhan lentur yang tiba-tiba segera setelah retak. Komponen lentur yang didesain menurut ketentuan peraturan membutuhkan beban tambahan yang cukup besar di atas beban retak dalam mencapai kekuatan lentur. Dengan demikian, defleksi yang besar menjadi peringatan bahwa kekuatan komponen telah mendekat. Jika kekuatan lentur dicapai segera setelah retak, tidak ada defleksi yang nyata serta yang menjadi aba-aba keruntuhan. Transfer gaya antara beton dan baja prategang, dan keruntuhan lentur yang tiba-tiba setelah retak, tidak terjadi jika baja prategang tanpa lekatan^{18.11}; sehingga, persyaratan ini tidak berlaku terhadap komponen dengan tendon tanpa lekatan.

R6.8.3 Sejumlah baja dengan lekatan diperlukan untuk ditempatkan di dekat sisi tarik komponen lentur prategang. Fungsi dari pada baja dengan lekatan ini, adalah untuk mengontrol retak di bawah beban layan penuh atau beban lebih.

R6.9 Tulangan lekatan minimum

R6.9.1 Sejumlah tulangan lekatan disyaratkan oleh peraturan dalam komponen yang diprategang dengan tendon tanpa lekatan untuk menjamin kinerja lentur pada kekuatan komponen batas, ketimbang sebagai busur ikat, dan untuk membatasi lebar dan spasi retak pada beban layan ketika tegangan tarik beton melampaui modulus runtuh. Penyediaan tulangan lekatan minimum dalam 6.9 membantu jaminan penampilan yang cukup.

Penelitian menunjukkan bahwa komponen pasca tarik tanpa lekatan tidak mengarahkan kapasitas besar untuk disipasi energi di bawah beban gempa yang berat karena tanggap komponen terutama bersifat elastis. Untuk alasan ini, komponen structural pasca tarik tanpa lekatan yang diperkuat menurut ketentuan ayat ini harus diasumsikan hanya memikul gaya vertikal dan berperan sebagai diafragma horisontal antara elemen disipator energi di bawah beban gempa dengan besar yang didefinisikan dalam 7.1.1. Luas tulangan lekatan minimum yang disyaratkan oleh Persamaan (21) dan Persamaan (23) merupakan luas minimum absolut yang bebas dari mutu baja atau kekuatan leleh rencana.

R6.9.2 Jumlah minimum tulangan dengan lekatan untuk komponen-komponen selain sistem slab dua arah didasarkan atas penelitian yang membandingkan perilaku balok-balok pasca tarik dengan dan tanpa lekatan.^{18.12} Berdasarkan penelitian ini dapat disarankan untuk menerapkan ketentuan 6.9.2 juga untuk sistem slab satu arah.

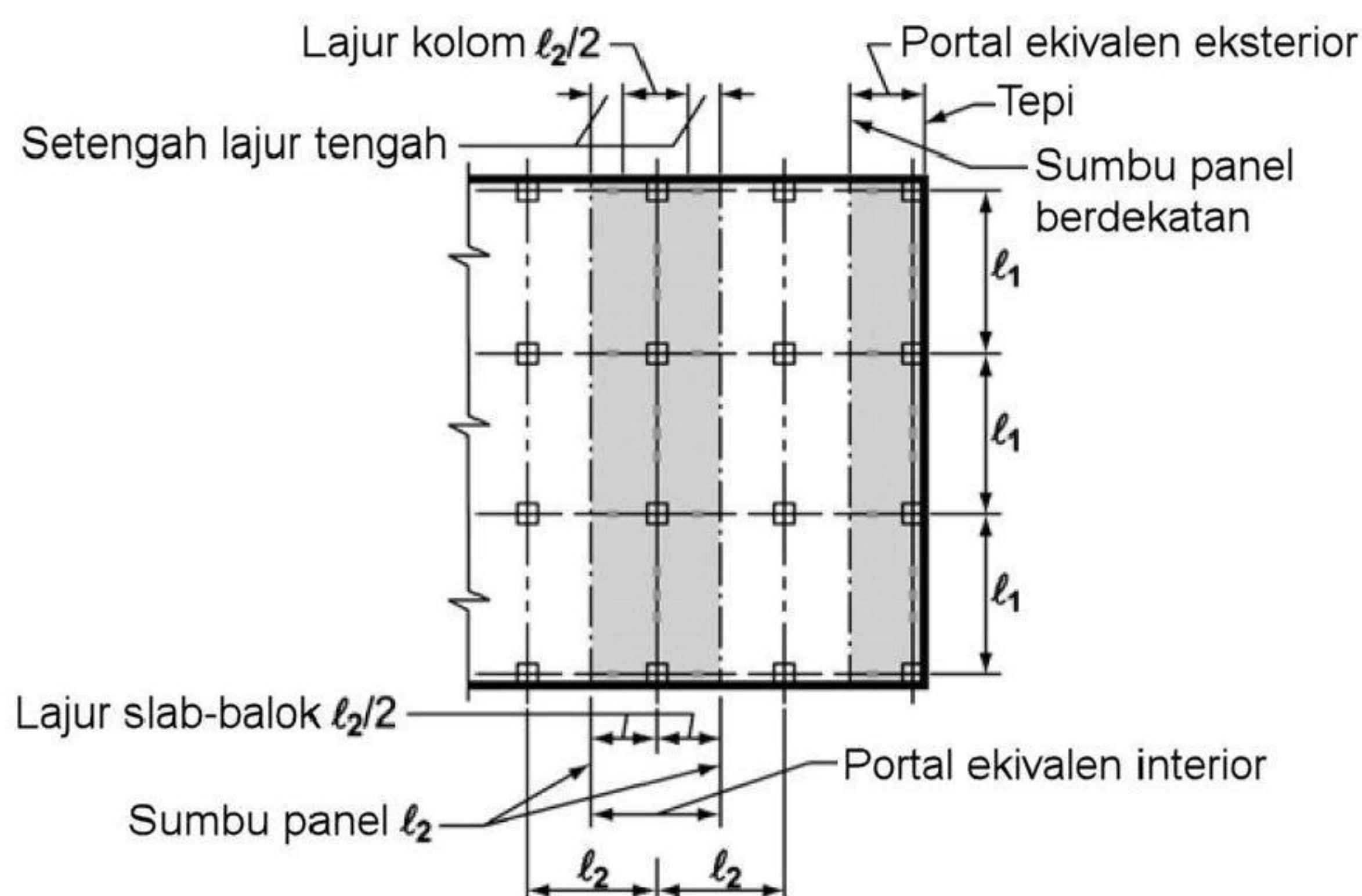
R6.9.3 Jumlah minimum tulangan lekatan dalam sistem slab dua arah didasarkan atas laporan Joint ACI- ASCE Committee 423.^{18.6,18.11} Penelitian yang tersedia secara terbatas untuk slab dua arah dengan drop panel menunjukkan bahwa perilaku sistem seperti ini

serupa dengan perilaku pelat. Referensi 18.11 telah direvisi oleh Committee 423 dalam tahun 1983 untuk menjelaskan bahwa ayat 6.9.3 berlaku untuk sistem slab dua arah.

R6.9.3.1 Untuk beban dan panjang bentang yang biasa, pengujian pelat yang dirangkum dalam laporan Committee 423^{18.3} dan pengalaman sejak diberlakukannya peraturan tahun 1963 menunjukkan kinerja yang memuaskan tanpa tulangan lekatan dalam area yang dinyatakan dalam 6.9.3.1.

R6.9.3.2 Dalam daerah momen positif, di mana besar tegangan tarik beton berada di antara $0,17\sqrt{f'_c}$ dan $0,50\sqrt{f'_c}$, diperlukan luas tulangan lekatan minimum yang diproporsikan menurut Persamaan (22). Gaya tarik N_c dihitung pada beban layan berdasarkan penampang homogen tanpa retak.

R6.9.3.3 Penelitian mengenai sistem slab dua arah pasca tarik tanpa lekatan yang telah dievaluasi oleh Committee 423^{18.1,18.6,18.11,18.13} menunjukkan bahwa tulangan lekatan di daerah momen negatif diproporsikan berdasarkan 0.075 persen dari luas penampang lajur pelat-balok, mengerahkan daktilitas yang cukup dan mereduksi lebar dan spasi retak. Untuk memperhitungkan tributari yang berbeda dari bentang yang berdekatan, Persamaan (23) dinyatakan berdasarkan portal ekuivalen seperti yang didefinisikan dalam 13.7.2 ACI 318-08 dan ditunjukkan dalam Gambar R13.7.2 ACI 318-08. Untuk panel slab persegi, Persamaan (23) adalah konservatif berdasarkan luas penampang yang lebih besar dari dua lajur slab-balok portal ekuivalen yang berpotongan pada kolom. Ini menjamin bahwa persentase minimum baja yang direkomendir oleh penelitian, disediakan di kedua arah. Konsentrasi tulangan ini pada slab atas yang langsung melewati atas dan langsung berhubungan dengan kolom, sangatlah penting. Penelitian juga menunjukkan bahwa di mana terjadi tegangan tarik yang kecil pada level beban layan, berlaku yang memuaskan telah dicapai pada level beban terfaktor tanpa tulangan lekatan. Namun, peraturan menyaratkan tulangan lekatan minimum tanpa mengindahkan level tegangan beban layan untuk membantu jaminan kontinuitas lentur dan daktilitas, dan untuk mereduksi lebar dan spasi retak akibat beban lebih, suhu atau susut. Penelitian mengenai sambungan pelat-kolom pasca tarik dilaporkan dalam Referensi 18.14 hingga Referensi 18.18.



Gambar R13.7.2 – Definisi portal ekuivalen

R6.9.4 Tulangan lekatan harus diangkurkan secukupnya untuk mengembangkan gaya-gaya beban terfaktor. Persyaratan dalam pasal 12 ACI 318-08 menjamin bahwa tulangan lekatan yang dibutuhkan untuk kekuatan lentur di bawah beban terfaktor memenuhi 6.7.3, atau untuk

kondisi tegangan tarik pada beban layan menurut 6.9.3.2, akan diangkurkan secukupnya untuk mengembangkan gaya tarik atau tekan. panjang minimum berlaku bagi tulangan lekatan yang disyaratkan oleh 6.9.2 atau 6.9.3.3, tetapi tidak disyaratkan untuk kekuatan lentur menurut 6.7.3. Penelitian^{18.13} mengenai bentang menerus menunjukkan bahwa panjang minimum ini memberikan perilaku yang cukup di bawah kondisi beban layan dan beban terfaktor.

R6.10 Struktur statis tak tentu

R6.10.3 Untuk struktur statis tidak tentu, momen-momen akibat reaksi yang diinduksi oleh gaya prategang, yang dinamakan momen sekunder, adalah penting baik dalam keadaan elastis maupun inelastis (lihat Referensi 18.19 hingga 18.21). Deformasi elastis akibat tendon yang nonkonkordan merubah besar rotasi enelastis yang dibutuhkan untuk menghasilkan redistribusi momen dalam jumlah tertentu. Sebaliknya, untuk balok dengan kapasitas rotasi inelastis tertentu, jumlah yang menimbulkan variasi momen pada tumpuan dirobah dengan jumlah yang sama dengan momen sekunder pada tumpuan akibat prategang. Dengan demikian, peraturan menyaratkan bahwa momen-momen sekunder harus diikuti dalam penentuan momen rencana.

Untuk menentukan momen-momen yang digunakan dalam desain, urutan dari perhitungan adalah: (a) tentukan momen-momen akibat beban mati dan beban hidup, (b) modifikasi momen dengan penambahan aljabar momen-momen sekunder, (c) redistribusi momen sebagai mana diijinkan. Momen sekunder positif pada tumpuan akibat tendon yang ditransformir ke bawah dalam profil konkordan akan meredusir momen negatif dekat tumpuan dan meningkatkan momen positif dalam daerah tengah bentang. Tendon yang ditransformir ke atas akan memberikan pengaruh yang berlawanan.

R6.10.4 Redistribusi momen dalam komponen lentur prategang menerus

Ketentuan untuk redistribusi momen dalam 8.4 ACI 318-08 berlaku terhadap komponen-komponen prategang. Lihat Referensi 18.22 untuk perbandingan hasil-hasil penelitian dan terhadap 6.10.4 dari peraturan tahun 1999.

Agar prinsip redistribusi momen dalam 6.10.4 berlaku terhadap balok-balok dengan tendon tanpa lekatan, balok-balok yang demikian perlu memiliki tulangan lekatan yang cukup untuk menjamin komponen bekerja sebagai balok-balok setelah retak, dan bukan bekerja sebagai busur tarik. Tulangan lekatan minimum menurut 6.9 mengatur tujuan ini.

R6.11 Komponen struktur tekan - Kombinasi beban lentur dan aksial

R6.11.2 Batas-batas tulangan komponen struktur tekan prategang

R6.11.2.3 Jumlah minimum tulangan dalam 14.3 ACI 318-08 tidak perlu diterapkan kepada dinding beton prategang, asalkan tegangan tekan rata-rata dalam beton akibat gaya prategang efektif saja sebesar 1,6 MPa atau lebih besar dan dilakukan analisis struktural untuk menunjukkan kekuatan dan stabilitas yang cukup dengan jumlah tulangan yang lebih sedikit.

R6.12 Sistem pelat

R6.12.1 Penggunaan metoda analisis portal ekuivalen (lihat 13.7 ACI 318-08) atau prosedur analisis yang lebih akurat, diperlukan untuk menentukan momen-momen dan geser layan dan terfaktor untuk sistem slab prategang. Metoda analisis portal ekuivalen telah ditunjukkan oleh pengujian model struktural yang besar, memprediksi momen dan geser terfaktor secara memuaskan dalam sistem slab prategang. (Lihat referensi 18.14 hingga 18.16, dan 18.23 hingga 18.25). Penelitian yang dirujuk juga menunjukkan bahwa analisis yang menggunakan penampang karismatis atau kekakuan pendekatan dapat menimbulkan kesalahan di fihak tidak aman. Pasal 13.7.7.4 ACI 318-08 dikecualikan dari penerapan terhadap sistem slab prategang karena ayat tersebut dikaitkan dengan slab yang didesain dengan metoda langsung, dan karena redistribusi momen untuk slab prategang dicakup dalam 6.10.4. Pasal 13.7.7.5 tidak berlaku terhadap sistem slab prategang karena distribusi momen antara lajur kolom dan lajur tengah yang disyaratkan oleh 13.7.7.5 ACI 318-08 didasarkan atas pengujian slab beton non-prategang. Metoda analisis yang disederhanakan dengan menggunakan koefisien rata-rata tidak berlaku terhadap sistem slab beton prategang.

R6.12.2 Pengujian mengindikasikan bahwa kekuatan momen dan geser slab prategang dikontrol oleh kekuatan baja prategang total dan jumlah serta lokasi dari tulangan non-prategang, ketimbang oleh distribusi tendon (Lihat referensi 18.14 hingga 18.16, dan 18.23 hingga 18.25).

R6.12.3 Untuk slab prategang yang menerus dua bentang atau lebih di masing-masing arah, rasio bentang-tebal umumnya tidak boleh melampaui 42 untuk lantai dan 48 untuk atap; batas-batas ini dapat dinaikkan masing-masing menjadi 48 dan 52 jika perhitungan menunjukkan bahwa lefleksi dan camber jangka pendek dan jangka panjang serta frekuensi dan amplitudo getaran tidak menjadi masalah.

Defleksi jangka pendek dan panjang dan lawan lendut harus dihitung dan diperiksa terhadap persyaratan kemampuan layan struktural.

Panjang maksimum slab antara joint konstruksi umumnya dibatasi hingga 30 m sampai 46 m untuk mengurangi pengaruh perpendekan slab, dan menghindarkan kehilangan prategang yang berlebihan akibat friksi.

R6.12.4 Pasal ini memberikan panduan khusus mengenai distribusi tendon yang akan mengijinkan penggunaan distribusi jalur tendon di satu arah. Metoda distribusi tendon ini telah terbukti menghasilkan penampilan yang memuaskan berdasarkan penelitian struktural. Prategang efektif rata-rata minimum sebesar 0,9 MPa digunakan dalam panel uji dua arah dalam permulaan tahun 70an dalam mendemonstrasikan geser pons slab bertulangan ringan. Demi alasan ini, prategang efektif minimum harus disediakan pada setiap penampang.

Jika tebal slab bervariasi di sepanjang bentang suatu slab atau di arah tegak lurus bentang, yang mengakibatkan penampang slab yang bervariasi, prategang efektif minimum sebesar 0,9 MPa dan spasi tendon maksimum disyaratkan pada setiap penampang yang mencakup tendon atau kelompok tendon sepanjang bentang, dengan memperhatikan penampang paling tipis dan paling tebal. Perhatikan bahwa ini dapat berakibat besar yang melebihi f_{pc} minimum penampang paling tipis, dan tendon dengan spasi yang lebih kecil dari nilai pada penampang paling tebal sepanjang bentang dengan tebal yang bervariasi, disebabkan aspek praktis dalam penempatan tendon di lapangan.

R6.12.6 Tendon prategang tanpa lekatan yang melewati sambungan slab-kolom pada lokasi mana saja di sepanjang ketebalan slab, memikul slab setelah terjadinya keruntuhan geser pons, asalkan tendon dibuat menerus melalui atau diangkurkan dalam daerah yang dicakup

oleh tulangan longitudinal kolom dan dicegah dari bursting melalui permukaan atas slab.^{18.26} Antara muka kolom atau kap geser, tendon integritas structural harus dilewatkan di bawah tendon orthogonal dari bentang sebelah sehingga pergeseran vertikal tendon integritas dikekang oleh tendon orthogonal. Jika tendon disebarkan di satu arah dan diikat di arah orthogonal, syarat ini dapat dipenuhi pertama-tama dengan menempatkan tendon integritas untuk arah tendon tersebar dan kemudian memasang tendon terikat. Jika tendon disebarkan di kedua arah, penentuan tendon perlu dan penerapan 6.12.7 merupakan metoda pendekatan yang lebih mudah.

R6.12.7 Dalam beberapa slab prategang, hambatan dalam layout tendon menimbulkan kesulitan untuk menjamin integritas structural tendon seperti yang disyaratkan dalam 6.12.6. Dalam situasi semacam ini, integritas struktural tendon dapat digantikan dengan tulangan ulir bawah.^{18.26}

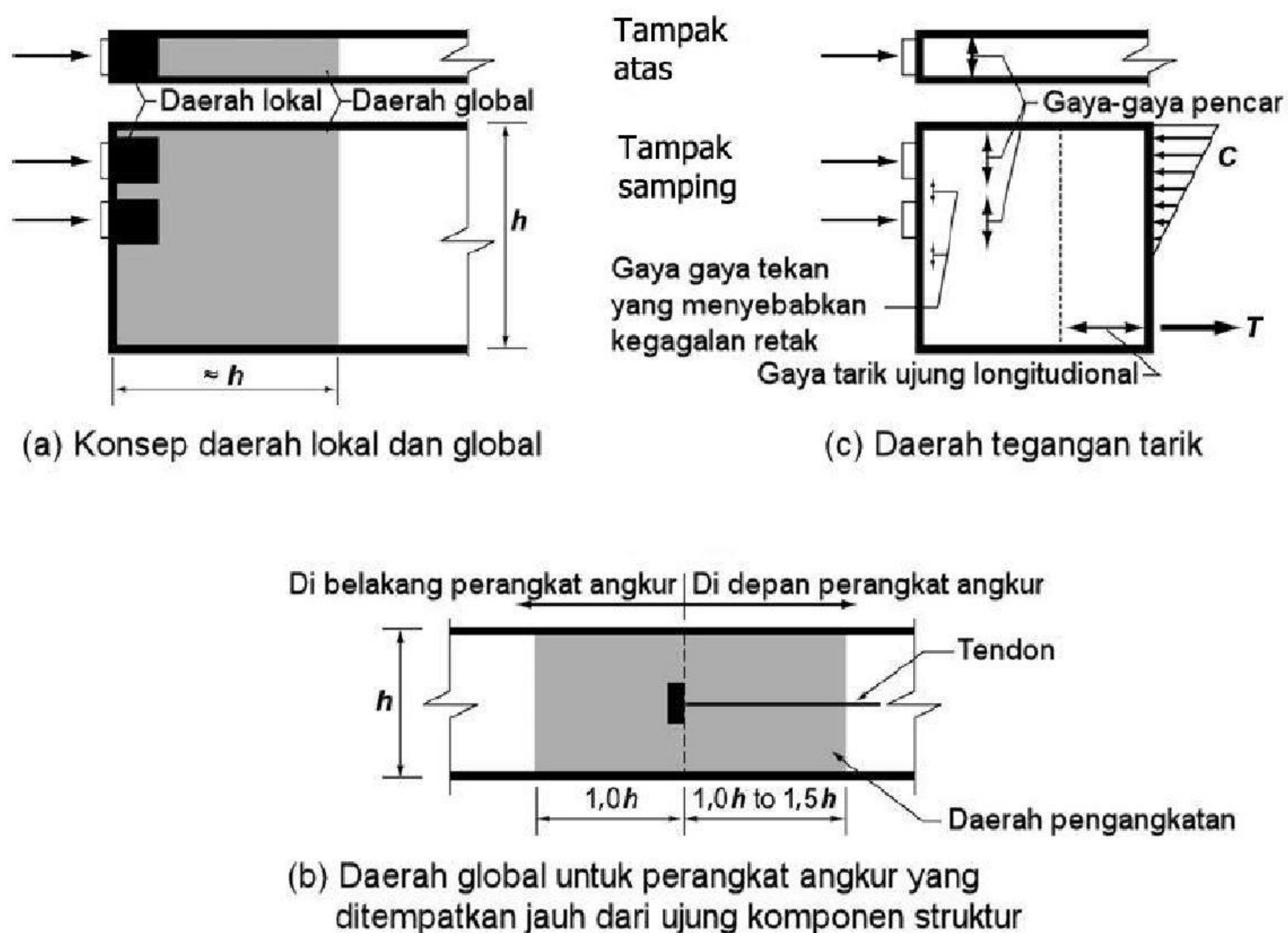
R6.13 Zona pengangkuran tendon pasca tarik

Pasal 6.13 secara ekstensif direvisi dalam peraturan tahun 1999 dan dibuat selaras dengan "*Standard Specifications for Highway Bridges*"^{18.27} AASHTO tahun 1996 dan Report 356 rekomendasi NCHRP.^{18.28}

Mengikuti adopsi oleh AASHTO tahun 1994 mengenai ketentuan komprehensif untuk zona pengangkuran pasca tarik, Committee 318 ACI merevisi peraturan semakin konsisten dengan persyaratan AASHTO. Jadi, ketentuan AASHTO yang sangat mendetail untuk analisis dan detail penulangan terlihat memenuhi persyaratan ACI 318 yang lebih umum. Dalam daerah khusus penentuan dan pelolosan pengujian alat angkut, ACI 318 menyertakan ketentuan AASHTO yang mendetail.

R6.13.1 Zona Pengangkuran

Berdasarkan prinsip Saint-Venant, ekstensi zona pengangkuran dapat diperkirakan mendekati dimensi terbesar penampang. Zona lokal dan zona umum ditunjukkan dalam Gambar R6.13.1 (a). Jika alat angkut yang ditempatkan jauh dari ujung komponen ditarik, tegangan tarik besar terjadi secara lokal di belakang dan di depan alat angkut. Tegangan tarik ini ditimbulkan oleh inkompatibilitas deformasi di depan dan belakang alat angkut (seperti diperlihatkan dalam Gambar R6.13.1 (b)). Keseluruhan daerah terarsir harus dipertimbangkan, seperti terlihat dalam Gambar R6.13.1 (b).



Gambar R6.13.1 - Zona pengangkatan

R6.13.2 Zona Lokal

Zona lokal memikul tegangan lokal yang sangat tinggi yang ditimbulkan alat angkut, dan menyalurkannya ke zona lainnya. Perilaku zona lokal sangat dipengaruhi oleh karakteristik spesifik alat angkut dan tulangan kekangannya, dan kurang dipengaruhi oleh geometrid an beban keseluruhan struktur. Desain zona lokal kadang-kadang tidak bisa diselesaikan sampai alat angkut khusus dipilih dalam tahap gambar kerja. Jika digunakan alat angkut khusus, pemasok alat angku harus menyediakan informasi pengujian untuk menunjukkan bahwa alat memuaskan menurut "Standard Specifications for Highway Bridges" AASHTO Divisi II, Article 10.3.2.3 dan menyediakan informasi mengenai penggunaan alat. Konsiderasi utama dalam desain zona lokal adalah pengaruh-pengaruh dari pada tekanan tumpuan yang tinggi dan kecukupan dari tulangan tekanan untuk meningkatkan kapasitas perlawanan tegangan tumpuan beton.

Gaya prategang terfaktor P_{pu} merupakan perkalian dari faktor beban (1,2 dari Pasal 9.2.5 ACI 318-08) dan gaya prategang maksimum yang diijinkan. Menurut 6.5.1, ini biasanya memberikan overstress akibat $0,94f_{py}$ tetapi tidak melampaui $0,80f_{pu}$, yang diijinkan untuk perioda yang singkat.

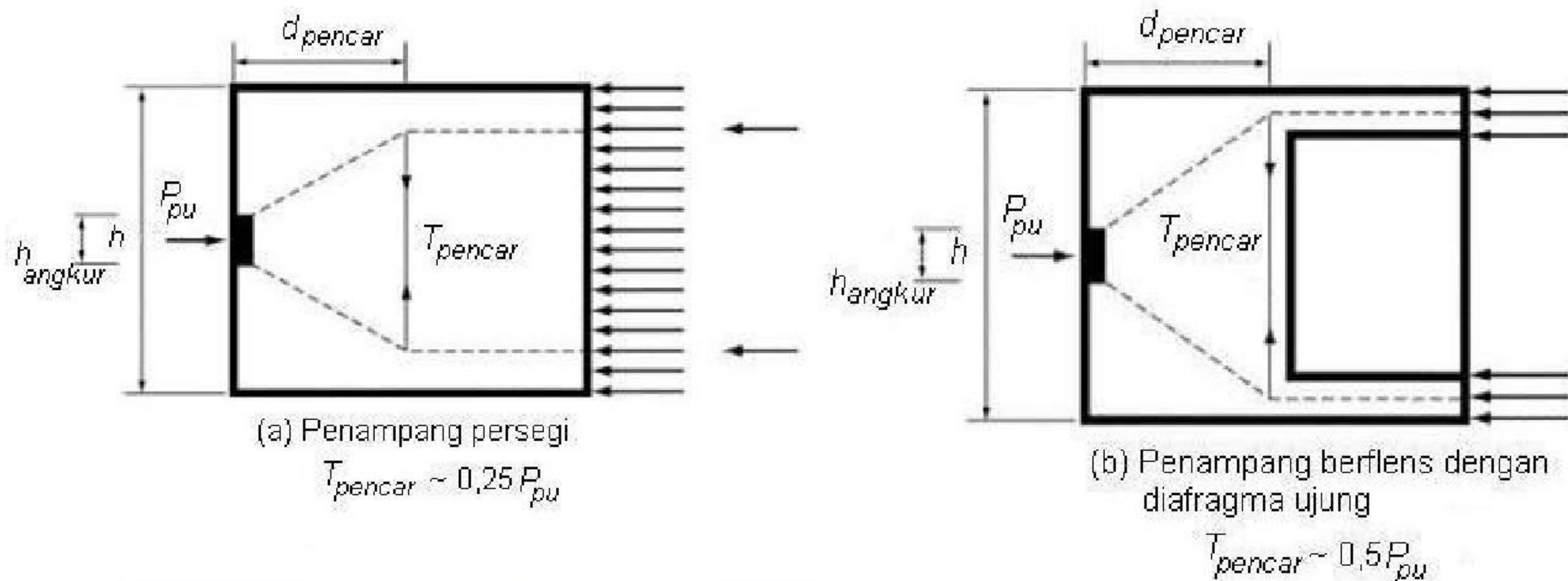
$$P_{pu} = (1,2)(0,80)f_{pu}A_{ps} = 0,96f_{pu}A_{ps}$$

R6.13.3 Zona umum

Dalam zona umum, asumsi umum teori balok yang menyatakan penampang rata tetap rata, tidak berlaku.

Desain harus meninjau semua daerah tegangan tarik yang dapat diakibatkan oleh alat angkur, termasuk bursting, spalling, dan tarik tepi seperti ditunjukkan dalam Gambar R6.13.1 (c). Juga, tegangan tekan segera di depan zona lokal (seperti dalam Gambar R6.13.1 (b)) harus diperiksa. Kadang-kadang, persyaratan tulangan belum dapat ditentukan sampai tendon spesifik dan layout alat angkur ditentukan dalam tahap gambar kerja. Penanggung jawab desain dan pengesahan harus jelas ditentukan dalam gambar dan spesifikasi proyek.

Perubahan yang tiba-tiba dalam penampang dapat menimbulkan deviasi yang nyata dalam alur gaya. Deviasi ini dapat meningkatkan gaya tarik seperti terlihat dalam Gambar R6.13.3.



Gambar R6.13.3 - Pengaruh dari perubahan penampang melintang

R6.13.4 Kekuatan bahan nominal

Deformasi inelastis beton diantisipasi akan terjadi karena desain zona angkur didasarkan atas pendekatan kekuatan. Nilai rendah kekuatan tekan nominal untuk beton tidak terkekang mencerminkan hal ini. Untuk beton yang terkekang sempurna, kekuatan tekan efektif dapat ditingkatkan (lihat Referensi 18.28). Nilai kekuatan tarik nominal baja prategang dengan lekatan dibatasi hingga kekuatan leleh baja prategang karena Persamaan (16) tidak berlaku untuk penerapan non-lentur ini. Nilai untuk baja prategang tanpa lekatan didasarkan atas nilai-nilai dari 6.7.2 (b) dan (c), namun agak dibatasi untuk penerapan non-lentur pendek. Hasil-hasil pengujian yang disajikan dalam Referensi 18.28 menunjukkan bahwa tegangan tekan yang ditimbulkan oleh prategang pelengkap yang tegak lurus terhadap sumbu tendon utama adalah efektif di dalam peningkatan kekuatan zona angkur. Pengikut sertaan faktor λ untuk beton ringan merefleksikan kekuatan tariknya yang rendah, yang merupakan faktor tidak langsung di dalam pembatasan tegangan tekan, dan juga penyebaran dan kegetasan yang ditunjukkan oleh beberapa pengujian zona angkur beton ringan.

Untuk membatasi retak susut dini, tendon strand tunggal kadang-kadang diprategang pada kekuatan beton yang kurang dari 17 MPa. Dalam kasus yang demikian, digunakan angkur strand tunggal berukuran besar, atau strand yang diprategang bertahap, pada level 1/3 hingga 1/2 gaya prategang akhir.

R6.13.5 Metoda desain

Daftar metoda-metoda desain dalam 6.13.5.1 mencakup prosedur-prosedur dengan panduan spesifik yang disajikan dalam Referensi 18.27 dan 18.28. Prosedur-prosedur ini telah ditunjukkan sebagai predictor konservatif kekuatan jika dibandingkan dengan hasil-hasil pengujian.^{18.28} Penggunaan model strut-and-tie sangat membantu dalam desain zona umum.^{18.28} Di dalam banyak penerapan angkur, dalam kasus beton yang secara masif

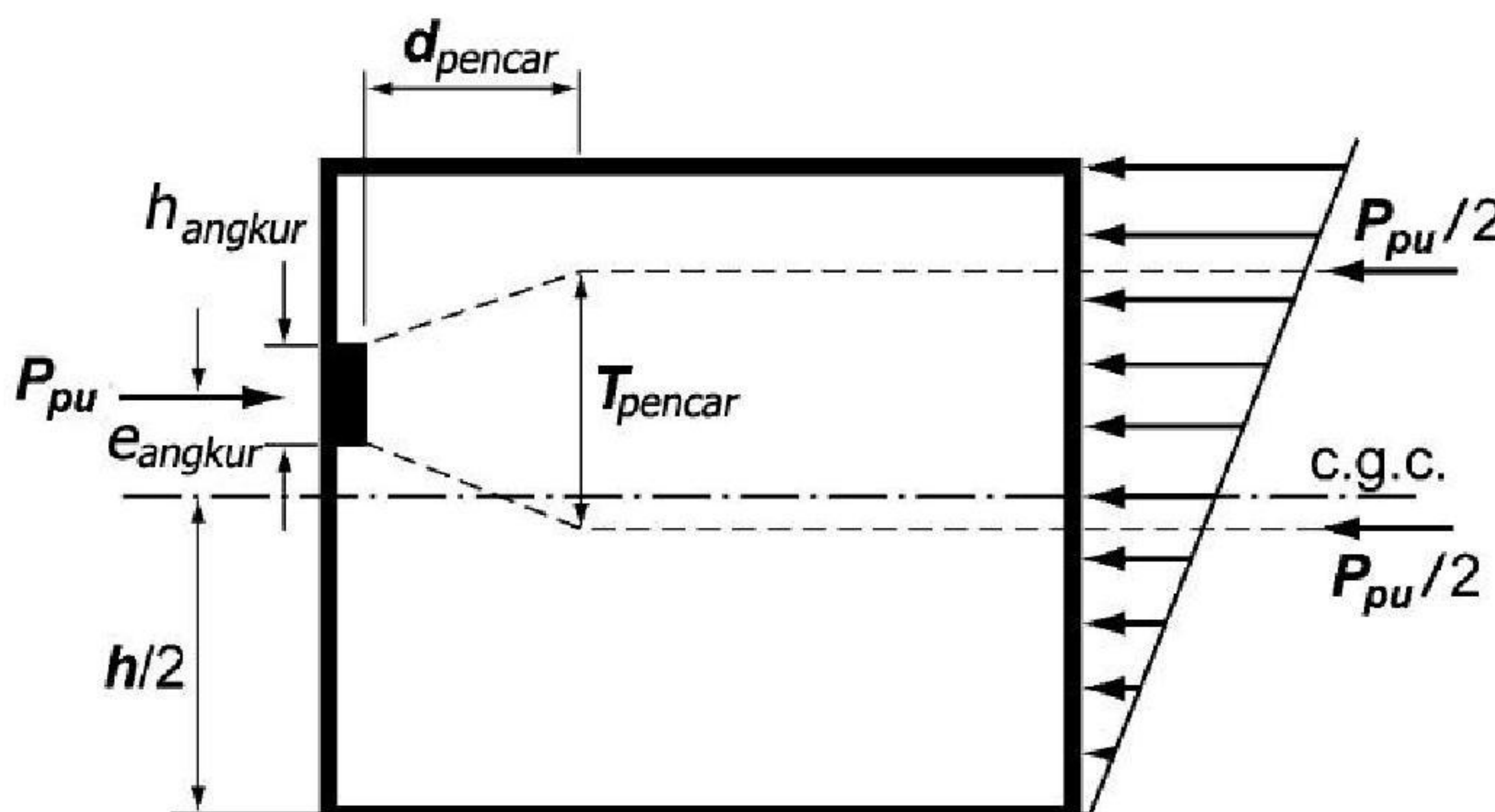
mengelilingi angkur, persamaan yang disederhanakan dapat diterapkan kecuali dalam kasus yang dinyatakan dalam 6.13.5.2.

Untuk banyak kasus, persamaan yang sederhana menurut Referensi 18.27 dan 18.28 dapat digunakan. Nilai-nilai untuk besar gaya pencair (*bursting*) $T_{pencair}$ dan untuk jarak ke pusatnya dari permukaan tumpuan utama angkur, $d_{pencair}$ dapat dihitung masing-masing dengan Persamaan (R14) dan Persamaan (R15). Unsur-unsur dalam Persamaan (R14) dan Persamaan (R15) ditunjukkan dalam Gambar R6.13.5 untuk gaya prategang bereksentrisitas kecil. Dalam penerapan Persamaan (R14) dan Persamaan (R15), urutan prategang yang ditetapkan harus ditinjau jika terdapat lebih dari satu tendon.

$$T_{pencar} = 0,25 \sum P_{pu} (1 - \frac{h_{angkur}}{h}) \quad (R14)$$

$$d_{pencar} = 0,50(h - 2e_{anakur}) \quad (R15)$$

di mana $\sum P_{pu}$ adalah jumlah gaya-gaya prategang dari N tendon individual, h_{angkur} tinggi alat angkur atau group tunggal alat yang diletakkan berdekatan di arah yang ditinjau, mm, e_{angkur} eksentrisitas (selalu diambil positif dari alat angkur atau group tunggal yang diletakkan berdekatan terhadap titik pusat penampang, mm, dan h dimensi penampang di arah yang ditinjau, mm.



Gambar R6.13.5 - Contoh model penunjang dan pengikat (strut-and-tie model)

Alat angkut harus dianggap ditempatkan berdekatan jika spasi pusat-ke-pusat tidak melampaui 1,5 kali lebar alat angkut di arah yang ditinjau.

Gaya spalling tendon untuk mana pusat berada dalam daerah kern penampang dapat diperkirakan sebesar 2 persen dari gaya prategang terfaktor total, kecuali untuk alat angkut ganda dengan spasi pusat-ke-pusat yang melampaui 0,4 kali tebal penampang. Untuk spasi besar dan untuk kasus dalam mana pusat tendon ditempatkan di luar kern, diperlukan analisis yang mendetail. Sebagai tambahan dalam pasca tarik penampang tipis atau berflens, atau penampang tidak teratur, atau jika tendon memiliki kelengkungan yang

signifikan dalam zona umum, diperlukan prosedur yang lebih umum seperti dalam AASHTO artikel 9.21.4 dan 9.21.5. Rekomendasi yang mendetail untuk prinsip desain yang berlaku bagi semua metoda-metoda desain diberikan dalam artikel 9.21.3.4 Referensi 18.27.

R6.13.5.3 Urutan penarikan alat angkut dapat berakibat nyata terhadap tegangan zona umum. Karena itu, penting untuk meninjau tidak hanya tahap akhir urutan penarikan dengan semua tendon yang diprategang, tetapi juga tahap antara selama konstruksi. Gaya bursting yang paling kritis yang ditimbulkan oleh masing-masing kombinasi tendon pasca tarik dan juga yang ditimbulkan oleh semua group tendon, harus ditinjau.

R6.13.5.4 Ketentuan untuk pengaruh tiga dimensi diikutkan agar pengaruh-pengaruh di arah yang tegak lurus kepada bidang utama komponen, seperti gaya bursting dalam arah tipis pinggul atau slab tidak diabaikan. Dalam banyak kasus, pengaruh-pengaruh ini dapat ditentukan secara terpisah untuk setiap arah, namun beberapa terapan mengharuskan dilakukannya analisis tiga dimensi penuh (sebagai contoh, diafragma untuk angkut tendon luar).

R6.13.5.5 Jika angkut ditempatkan jauh dari ujung komponen, tegangan tarik lokal timbul di belakang angkut (lihat Gambar R6.13.1 (b)) akibat syarat kompatibilitas deformasi di depan dan belakang angkut. Persyaratan $0,35P_{pu}$ dikembangkan dengan menggunakan 25 persen dari gaya prategang tidak terfaktor yang dipikul oleh tulangan pada level $0,60f_y$.

R6.14 Desain daerah pengangkutan untuk strand tunggal atau batang tendon tunggal berdiameter 16 mm

R6.14.2 Desain zona umum untuk tendon slab

Untuk tendon slab strand tunggal, persyaratan tulangan minimum zona umum didasarkan atas rekomendasi Joints ACI-ASCI Committee 423,^{18.11} yang menunjukkan detail tipikal. Batang horisontal yang sejajar sisi yang disyaratkan oleh 6.14.2.2 harus dibuat menerus di mana mungkin.

Pengujian yang mendasari rekomendasi Referensi 18.28 dibatasi untuk alat angkut untuk diameter 13 mm, strand 1 860 MPa tendon tanpa lekatan dalam beton bobot normal. Dengan demikian, untuk alat angkut strand yang lebih besar dan untuk semua penggunaan dalam slab beton ringan, Committee 423 merekomendasi bahwa jumlah dan spasi tulangan harus disesuaikan secara konservatif untuk mengarahkan gaya angkut yang lebih besar dan kekuatan tarik belah yang lebih kecil untuk beton ringan.^{18.11}

Baik Referensi 18.11 maupun Referensi 18.28 merekomendasi bahwa tulangan konde juga disediakan untuk angkut yang ditempatkan 300 mm sudut slab untuk memikul gaya tarik tepi. Kata-kata “di depan “ dalam 6.14.2.3 memiliki arti seperti yang ditunjukkan dalam Gambar R6.13.1.

Dalam kasus-kasus di mana alat angkut strand majemuk digunakan untuk tendon slab, 6.15 dapat diterapkan.

Tulangan bursting yang tegak lurus bidang slab yang diisyaratkan oleh 6.14.2.3 untuk group tendon yang ditempatkan cukup berdekatan, juga harus disediakan dalam kasus tendon yang ditempatkan berjauhan jika keruntuhan alat angkut dapat mengakibatkan keruntuhan yang melebihi keruntuhan lokal.

R6.14.3 Desain zona umum untuk tendon tunggal atau group balok dan gelagar

Group tendon strand tunggal dengan alat angkut strand tunggal individual sering digunakan untuk balok dan gelagar. Alat angkut dapat dipandang seperti susunan rapat jika jarak pusat-ke-pusat tidak melampaui 1,5 kali lebar alat angkut di arah yang ditinjau. Jika suatu balok atau gelagar memiliki alat angkut tunggal atau group tunggal dari alat-alat angkut yang ditempatkan berdekatan, diijinkan menggunakan persamaan yang disederhanakan seperti dalam R6.13.5, kecuali jika 6.13.5.2 menentukan. Kondisi yang lebih rumit dapat didesain dengan menggunakan model strut-and-tie. Rekomendasi mendetail dalam penggunaan model-model yang demikian, diberikan dalam Referensi 18.26 dan Referensi 18.29 dan juga dalam R6.13.5.

R6.15 Desain daerah pengangkutan untuk tendon strand majemuk**R6.15.1 Desain zona lokal**

Lihat R6.13.2.

R6.15.2 Penggunaan alat angkut khusus

Tulangan kulit adalah tulangan yang ditempatkan di dekat permukaan luar dalam zona angkut untuk membatasi lebar dan spasi retak lokal. Tulangan dalam zona umum untuk aksi-aksi lainnya (lentur, geser, susut, suhu dan sebagainya) dapat digunakan untuk memenuhi syarat tulangan kulit suplementer. Penentuan tulangan kulit suplementer tergantung perangkat keras alat angkut yang digunakan dan kerap tidak bias ditentukan hingga tahap gambar kerja.

R6.16 Perlindungan terhadap karat untuk tendon prategang tanpa lekatan

R6.16.1 Bahan yang sesuai untuk proteksi korosi baja pratarik tanpa lekatan harus memiliki sifat-sifat yang diindikasikan dalam Pasal 5.1 Referensi 18.29.

R6.16.2 Secara umum, pelapis merupakan material polyethylene padat menurus dan tanpa sambungan yang langsung membungkus baja prategang yang dilumuri.

R6.16.4 Dalam peraturan tahun 1989, persyaratan proteksi korosi untuk tendon strand tunggal tanpa lekatan ditambahkan selaras dengan "Specification for Unbonded Single Strand Tendons", yang dikeluarkan oleh the Post-Tensioning Institute. Dalam peraturan tahun 2002, referensi dirubah menjadi ACI 423.6. Dalam peraturan tahun 2008, referensi dirubah menjadi ACI 423.7.

R6.17 Selongsong untuk sistem pasca tarik

R6.17.4 Air dalam selongsong dapat berakibat bahaya terhadap beton sekitar pada saat pembekuan. Jika strand ada, air mengantong dalam selongsong harus dihindarkan. Pencegah korosi harus digunakan untuk memberikan proteksi korosi sementara jika baja prategang terbuka terhadap perioda lembab yang berkepanjangan dalam selongsong sebelum grout.^{18.30}

R6.18 Grout untuk tendon prategang dengan lekatan

Pengerjaan serta prosedur grout yang seksama sangat penting untuk konstruksi pasca tarik.^{18.31,18.32} Grout memberikan lekatan antara baja prategang dan selongsong, serta memberikan proteksi karat bagi baja prategang.

Keberhasilan yang silam dengan grout untuk tendon lekatan telah dinikmati semen Portland. Penggunaan selimut untuk semua material semen (didefinisikan dalam 3.1) bersamaan dengan grout ini keihatannya tidak layak karena kurangnya pengalaman atau pengujian dengan bahan semen selain semen portland, dan kekuatiran bahwa bahan semen dapat menimbulkan bahan kimiawi yang berbahaya terhadap tendon sebagai mana tercantum dalam R6.18.2. Dengan demikian, semen Portland dalam 6.18.1 dan rasio air-semen dalam 6.18.3.3 tetap dicantumkan dalam peraturan.

R6.18.2 Batasan campuran dalam 3.6 ACI 318-08 berlaku bagi grout. Zat yang telah diketahui berbahaya bagi tendon, grout atau beton adalah klorida, fluoride, sulfat dan nitrat. Bubuk aluminum atau campuran mengembang lainnya, jika disetujui harus memberikan ekspansi tidak terkekang sebesar 5 persen hingga 10 persen. Grout semen yang rapi digunakan dalam hamper semua konstruksi bangunan. Penggunaan pasir bergradasi halus dalam grout hanya digunakan untuk selongsong besar yang memiliki permukaan kosong yang besar.

R6.18.3 Pemilihan proporsi grout

Grout yang diproporsikan sesuai ketentuan-ketentuan ini, pada umumnya menghasilkan kekuatan tekan 7 hari bagi kubus uji standar 50 mm yang melampaui 17 MPa dan kekuatan 28 hari yang melampaui 28 MPa. Sifat-sifat penanganan dan penempatan grout umumnya diberikan perhatian ketimbang kekuatan dalam desain campuran grout.

R6.18.4 Pencampuran dan pemompaan grout

Dalam temperatur ambient 2 °C grout dengan suhu minimum awal 16 °C kemungkinan akan memerlukan waktu 5 hari untuk mencapai kekuatan 5,5 MPa. Suhu grout minimum disarankan 16 °C karena selaras dengan suhu minimum yang direkomendir bagi beton yang dicor pada suhu ambient 2 °C Grout yang cepat mengeras, jika disetujui kemungkinan membutuhkan waktu lebih pendek untuk proteksi, dan rekomendasi pemasok harus dituruti. Kubus-kubus uji dirawat harus dalam kondisi suhu dan kelembaban yang sedekat mungkin dengan suhu dan kelembaban grout dalam komponen. Suhu grout yang melampaui 32 °C dapat menimbulkan kesulitan dalam pemompaan.

R6.20 Pemberian dan pengukuran gaya prategang

R6.20.1 Pengukuran perpanjangan untuk komponen prategang harus dilakukan sesuai prosedur yang tercantum dalam *the Manual for Quality Control for Plants and Production Structural Precast Concrete Products*, yang diterbitkan oleh the Precast/Prestressed Concrete Institute.^{18,33}

Pasal 6.18.1 peraturan tahun 1989 direvisi untuk mengijinkan toleransi 7 persen dalam gaya baja prategang yang ditentukan dengan pengukuran tekanan gauge dan perpanjangan untuk konstruksi pasca tarik. Pengukuran perpanjangan untuk konstruksi pasca tarik dipengaruhi oleh beberapa faktor yang kurang signifikan, atau yang tidak muncul untuk elemen pratarik. Friksi di sepanjang baja prategang dalam penerapan pasca tarik, dapat dipengaruhi dalam tingkat yang bervariasi dengan digunakan toleransi pemasangan dan iregularitas kecil dalam profil tendon akibat pengecoran beton. Koefisien friksi antara baja prategang dan selongsong juga bervariasi. Toleransi 5 persen yang muncul sejak peraturan tahun 1963 diusulkan oleh Committee 423 dalam tahun 1958,^{18,6} dan terutama mencerminkan pengalaman-pengaman dalam produksi elemen beton pratarik. Karena tendon elemen pratarik umumnya diprategang dalam udara dengan efek friksi minimum, toleransi 5 persen dipertahankan untuk elemen yang demikian.

R6.20.4 Ketentuan ini berlaku untuk semua komponen beton prategang. Untuk sistem slab pasca tarik yang dicor di tempat, komponen harus sedemikian hingga merupakan bagian yang dipandang sebagai elemen dalam desain, seperti rusuk dan lebar slab efektif dalam sistem berusuk satu arah, atau lajur kolom atau lajur tengah dalam sistem pelat dua arah.

R6.21 Angkur dan penyambung pada sistem pasca tarik

R6.21.1 Dalam peraturan interim tahun 1986, ketentuan terpisah untuk kekuatan angkur tendon dengan dan tanpa lekatan yang diberikan dalam 6.19.1 dan 6.19.2 peraturan tahun 1983 dikomendasikan dalam revisi 6.19.1 tunggal yang mencakup angkur dan penyambung untuk tendon tanpa lekatan maupun dengan lekatan. Sejak peraturan tahun 1989, kekuatan yang disyaratkan untuk assembling tendon-angkur atau tendon-penyambung untuk tendon tanpa lekatan, ataupun dengan lekatan jika diuji dalam keadaan tanpa lekatan, didasarkan pada 95 persen kekuatan runtuh spesifik dari baja prategang yang diuji. Bahan baja prategang harus sesuai dengan ketentuan minimum spesifikasi ASTM yang berlaku sebagai mana dijabarkan dalam 3.5.5. ACI 318-08. Kekuatan spesifik angkur dan penyambung melampaui kekuatan desain maksimum baja prategang dengan margin yang substansial, dan pada saat yang sama menyadari pengaruh peningkatan tegangan yang berkaitan dengan angkur dan penyambung pasca tarik yang paling tersedia. Kekuatan angkur dan penyambung harus mencapai dengan besar minimum deformasi permanen dan set yang berturut-turut, dengan mengingat bahwa deformasi dan set akan terjadi jika diuji hingga runtuh. Perakitan tendon harus memenuhi persyaratan perpanjangan 2 persen dalam ACI 301^{18.34} dan rekomendasi industri. Angkur dan penyambung untuk tendon dengan lekatan yang mengembangkan kurang dari 100 persen kekuatan runtuh spesifik baja prategang hanya boleh digunakan untuk panjang transfer lekatan antara angkur dan penyambung dan untuk penampang kritis yang sama atau melampaui nilai yang disyaratkan untuk mengembangkan kekuatan baja prategang. Panjang lekatan ini, dapat dihitung berdasarkan hasil-hasil pengujian karakteristik lekatan strand prategang yang tidak tertarik,^{18.35} atau hasil-hasil pengujian lekatan bahan baja prategang lainnya.

R6.21.3 Untuk diskusi mengenai beban fatik, lihat Referensi 18.36.

Untuk rekomendasi mendetail mengenai kondisi pembebanan statis dan siklus tendon dan angkur tendon tanpa lekatan, lihat Pasal 4.1.3 ACI 318-08 dari Referensi 18.11, dan Pasal 15.2.2 ACI 318-08 dari Referensi 18.34.

R6.21.4 Untuk rekomendasi mengenai perlindungan, lihat Pasal 4.2 dan 4.3 ACI 318-08 dari Referensi 18.11, dan Pasal 3.4, 3.6, 5, 6 dan 8.3 ACI 318-08 Referensi 18.29.

R6.22 Sistem pasca tarik luar

Pemasangan tendon dari luar merupakan metoda yang memberikan kekuatan tambahan atau meningkatkan kelayakan, atau keduanya dalam struktur yang telah berdiri. Ini sangat cocok untuk perbaikan atau peningkatan struktur yang ada dan memperkenankan variasi yang luas dalam pengaturan tendon.

Informasi tambahan mengenai sistem pasca tarik luar diberikan dalam Referensi 18.37.

R6.22.3 Tendon luar sering ditambahkan kepada komponen beton pada lokasi bervariasi antara angkur-angkur (seperti tengah bentang, titik perempatan atau pertigaan) untuk efek perimbangan beban yang diinginkan, untuk jajaran tendon, atau untuk menangani getaran tendon. Perhatian perlu diberikan terhadap pengaruh-pengaruh yang ditimbulkan oleh peralihan profil tendon berkenaan dengan titik pusat beton sewaktu komponen berdeformasi dibawah pengaruh pasca tarik dan beban.

R6.22.4 Proteksi korosi permanen dapat dicapai dengan berbagai metoda. Proteksi korosi yang disediakan harus sesuai dengan lingkungan dalam mana tendon ditempatkan. Beberapa kondisi akan menyaratkan bahwa baja prategang harus dilindungi dengan selimut beton atau dengan grout semen dalam tabung polyethylene atau metal; kondisi lainnya akan memperkenankan pemberian proteksi dengan lumuran seperti cat atau oli. Metoda proteksi korosi harus memenuhi persyaratan proteksi kebakaran dari peraturan bangunan umum, kecuali jika instalasi pasca tarik luar hanya untuk meningkatkan kelayakan.

R7.1 Persyaratan umum

R7.1.1 Ruang lingkup

Bab 7 mencakup ketentuan yang merupakan persyaratan minimum untuk struktur beton cor di tempat atau pracetak yang mampu memikul sederetan osilasi hingga tahap inelastis tanpa penurunan kekuatan kritis. Integritas struktur dalam rentang respon inelastis harus dipertahankan karena gaya gempa desain yang didefinisikan dalam dokumen seperti ketentuan ASCE/SEI 7,^{21.1} IBC,^{21.2} UBC,^{21.3} dan NEHRP^{21.4} dianggap kurang daripada gaya gempa yang berkaitan dengan respon linier pada intensitas gempa yang diantisipasi.^{21.4-21.7}

Struktur beton cor di tempat atau pracetak yang didetail secara seksama bereaksi terhadap gerakan tanah yang kuat, kekakuan efektif berkurang dan disipasi energinya bertambah. Perubahan-perubahan ini cenderung mengurangi tanggap percepatan dan gaya inersia lateral relatif terhadap nilai-nilai yang seyogyanya terjadi jika struktur tetap dalam keadaan elastik linier dan teredam ringan.^{21.7} Dengan demikian, penggunaan gaya-gaya desain yang mewakili efek-efek gempa sebagaimana yang tercakup dalam ASCE/SEI 7 menyaratkan bahwa sistem penahan gaya gempa tetap menyisakan sebagian substansial dari kekuatannya di rentang inelastis di dalam pembalikan perpindahan.

Ketentuan Bab 7 mengaitkan persyaratan pendetailan kepada tipe portal struktural dan kategori desain gempa (KDG). KDG secara langsung diadopsi dari ASCE/SEI 7, dan terkait dengan pertimbangan tingkat risiko gempa, tipe tanah, penghunian, dan penggunaan. Sebelum peraturan tahun 2008, penunjukan risiko gempa rendah, menengah, dan tinggi digunakan untuk menggambarkan persyaratan pendetailan. Untuk perbandingan kualitatif penunjukkan KDG dan risiko gempa, lihat Tabel R1.1.9.1 ACI 318-08. Pengaturan struktur terhadap KDG diatur oleh peraturan bangunan gedung umum yang secara legal diadopsi dari peraturan dalam mana peraturan ini merupakan bagiannya (lihat 1.1.9).

Persyaratan desain dan pendetailan harus sesuai dengan tingkat disipasi energi (atau ketegaran) dengan asumsi yang digunakan dalam perhitungan gaya-gaya gempa desain. Terminologi “biasa”, “menengah”, dan “khusus” secara khusus digunakan untuk memfasilitasi kompatibilitas ini. Tingkat ketegaran yang diperlukan dan karenanya tingkat pendetailan yang diperlukan, meningkat untuk struktur mulai dari kategori “biasa”, “menengah”, hingga “khusus”. Adalah penting bahwa struktur yang digolongkan ke dalam KDG yang lebih tinggi memiliki tingkat ketegaran yang lebih tinggi. Namun, diijinkan untuk merancang untuk ketegaran yang lebih tinggi pada KDG yang lebih rendah dan memanfaatkan tingkat gaya desain yang lebih rendah.

Ketentuan Bab 1 hingga 19 dan 22 ACI 318-08 dipandang cukup untuk struktur-struktur yang digolongkan ke dalam KDG A (berkaitan dengan resiko gempa terendah). Untuk struktur-struktur yang digolongkan ke dalam KDG B berlaku persyaratan tambahan.

Struktur-struktur yang digolongkan ke dalam KDG C boleh memikul gerakan tanah kuat sedang. Sistem yang digolongkan penahan gaya gempa umumnya menggabungkan beberapa kombinasi dinding struktural cor di tempat biasa, dinding struktur pracetak

menengah dan portal momen menengah. Peraturan bangunan umum yang diadopsi secara legal dalam mana peraturan ini merupakan sebagian daripadanya, juga mengandung ketentuan penggunaan sistem penahan gaya gempa lainnya dalam KDG C. Pasal 7.1.1.7 menjelaskan persyaratan untuk sistem yang dipilih.

Struktur yang digolongkan ke dalam KDG D, E, atau F dapat memikul gerakan tanah kuat. Adalah merupakan maksud daripada Committee 318 bahwa sistem penahan gaya gempa bangunan gedung beton yang digolongkan ke dalam KDG D, E, atau F dilengkapi dengan portal momen khusus, dinding struktural khusus atau kombinasi dari keduanya. Selain 7.1.2 hingga 7.1.8, struktur ini juga disyaratkan memenuhi persyaratan pemeriksaan berkesinambungan (1.3.5), diafragma dan rangka sendi (7.11), fondasi (7.12), dan elemen penahan beban grafitasi yang tidak digolongkan sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa (7.13). Ketentuan-ketentuan ini telah dikembangkan untuk memberi struktur ketegaran yang memadai untuk kebutuhan yang tinggi yang diharapkan untuk KDG-KDG ini.

Peraturan bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal dalam mana peraturan ini merupakan sebagian daripadanya, juga dapat memperkenankan penggunaan portal momen menengah sebagai bagian daripada sistem rangkap untuk beberapa bangunan gedung yang digolongkan ke dalam KDG D, E, atau F. Bukanlah maksud dari Committee 318 untuk merekomendasikan penggunaan portal momen menengah sebagai bagian dari portal penahan momen atau sistem dual dalam KDG D, E, atau F. Peraturan bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal juga memperkenankan desain alternatif substansial atau non-perskriptif, atau dengan berbagai ketentuan-ketentuan tambahan, penggunaan sistem biasa atau menengah untuk struktur non-bangunan gedung dalam KDG yang lebih tinggi. Ini bukanlah merupakan penerapan tipikal di sekitar mana bab ini dituliskan, tetapi mana kala istilah portal momen "biasa" atau "menengah" yang digunakan dalam referensi beton bertulang, 7.2 atau 7.3 berlaku.

Tabel R7.1.1 meringkaskan berlakunya ketentuan dalam Bab 7 sebagaimana umumnya berlaku dalam penggunaan persyaratan minimum pada berbagai KDG. Bila sistem khusus digunakan untuk struktur dalam KDG B atau C, tidak disyaratkan untuk memenuhi persyaratan 7.13 walaupun harus diperiksa bahwa komponen struktur yang bukan digolongkan sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa akan stabil akibat perpindahan desain.

Persyaratan pengaturan dan pendetailan dalam Bab 7 terutama didasarkan atas pengalaman lapangan dan laboratorium dengan struktur bangunan gedung beton bertulang monolite dan struktur bangunan beton pracetak yang dirancang dan detail berperilaku sebagai struktur bangunan monolitik. Ekstrapolasi persyaratan-persyaratan ini terhadap tipe-tipe struktur beton cor di tempat atau beton pracetak lainnya harus berdasarkan atas kenyataan yang dihasilkan oleh pengalaman lapangan, pengujian, atau analisis. Kriteria penerimaan untuk portal momen yang diberikan dalam ACI 374.1 dapat digunakan berkaitan dengan Bab 7 untuk memperlihatkan bahwa kekuatan dan ketegaran suatu sistem portal yang diusulkan sama atau melebihi daripada yang dihasilkan oleh sistem beton monolit yang setara. ACI ITG-5.1 memberi informasi yang serupa untuk sistem-sistem dinding pracetak.

Persyaratan ketegaran dalam 7.1.1.8 mengacu pada integritas struktural dari keseluruhan sistem penahan gaya gempa pada perpindahan lateral yang diantisipasi untuk gerakan tanah yang berkaitan dengan gempa desain. Ketergantungan karakteristik disipasi energi dari sistem struktural yang digunakan, perpindahan tersebut dapat lebih besar dari untuk suatu struktur beton bertulang monolit.

Tabel R7.1.1 Pasal 7 yang harus dipenuhi dalam aplikasi tipikal

Komponen penahan efek gempa, kecuali dinyatakan lain	Kategori Desain Gempa			
	A (tidak ada)	B (7.1.1.4)	C (7.1.1.5)	D, E, F (7.1.1.6)
Persyaratan analisis dan desain	tidak ada	7.1.2	7.1.2	7.1.2, 7.1.3
Material		tidak ada	tidak ada	7.1.4 - 7.1.7
Komponen struktur portal		7.2	7.3	7.5, 7.6, 7.7, 7.8
Dinding struktural dan balok kopel		tidak ada	tidak ada	7.9
Dinding struktural pracetak		tidak ada	7.4	7.4, [†] 7.10
Diafragma struktural dan rangka batang		tidak ada	tidak ada	7.11
Fondasi		tidak ada	tidak ada	7.12
Komponen struktur portal tidak diproporsikan untuk menahan gaya induksi oleh gerakan gempa		tidak ada	tidak ada	7.13
Angkur		tidak ada	7.1.8	7.1.8
* Selain persyaratan Bab 1 sampai 19 ACI 318-08, kecuali seperti dimodifikasi oleh Bab 7, Pasal 22.10 ACI 318-08 juga berlaku pada KDG D, E, dan F. [†] Seperti diijinkan oleh peraturan bangunan gedung yang berlaku di mana standar ini membentuk suatu bagian.				

R7.1.2 Analisis dan proporsionalisasi komponen struktural

Diasumsikan bahwa distribusi kekuatan yang diperlukan terhadap berbagai komponen sistem penahan gaya gempa akan dipandu oleh analisis model elastis linear sistem yang bekerja terhadap gaya-gaya terfaktor yang disyaratkan oleh peraturan bangunan umum yang diadopsi secara legal. Jika analisis histori tanggap non-linear digunakan, gerakan dasar harus dipilih setelah penelitian rinci kondisi lapangan dan histori gempa lokal. Karena gempa dasar desain menerima respon non-linear, adalah perlu untuk memeriksa stabilitas dari sistem penahan gaya gempa dan juga interaksinya dengan komponen struktural dan non-struktural lainnya pada perpindahan yang lebih besar daripada yang dinyatakan oleh analisis linear. Menangani hal ini tanpa harus menggunakan analisis respon non-linear, satu pilihan adalah dengan mengalikan dengan faktor sedikitnya dua terhadap perpindahan dari analisa linear yang menggunakan gaya lateral terfaktor, kecuali jika menggunakan peraturan bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal yang menyaratkan faktor-faktor yang digunakan seperti dalam IBC atau UBC. Untuk perhitungan perpindahan lateral, yang mengasumsikan semua komponen struktur horisontal dalam keadaan retak penuh, cenderung mengarahkan kepada estimasi yang lebih baik mengenai kemungkinan simpangan ketimbang menggunakan kekakuan penampang tidak retak untuk semua komponen struktur. Asumsi-asumsi analisis yang dijelaskan dalam 8.8 ACI 318-08 juga dapat digunakan untuk memperkirakan defleksi lateral dari sistem bangunan gedung beton bertulang.

Tujuan utama daripada Bab 7 adalah keamanan dari struktur. Maksud dari 7.1.2.1 dan 7.1.2.2 adalah menggiring perhatian terhadap pengaruh dari komponen non-struktural terhadap respon struktural dan terhadap resiko akibat objek-objek yang berjatuh.

Pasal 7.1.2.3 berperan sebagai peringatan bahwa dasar struktur seperti didefinisikan dalam analisis tidak perlu berkaitan dengan fondasi atau level tanah. Detail kolom-kolom dan dinding-dinding yang diteruskan dibawah dasar struktur kepada fondasi disyaratkan konsisten dengan yang berada di atas dasar struktur.

Dalam pemilihan ukuran komponen struktur penahan gempa, adalah penting untuk mempertimbangkan masalah terkait pengerjaan penulangan yang rapat. Desain harus sedemikian hingga semua penulangan dapat dirakit dan ditempatkan pada lokasi yang sebenarnya dan bahwa beton dapat dicor dan dipadatkan secara seksama. Penggunaan batas-batas atas rasio tulangan yang diperkenankan cenderung untuk mengarah kepada masalah pelaksanaan yang sulit dilaksanakan terutama pada joint-joint portal.

R.7.1.4 Beton dalam portal momen khusus dan dinding struktural khusus

Persyaratan dalam pasal ini mengacu pada kualitas beton dalam portal dan dinding yang menahan gaya-gaya akibat gempa. Kekuatan tekan maksimum yang disyaratkan dari beton ringan yang digunakan dalam perhitungan-perhitungan desain struktural dibatasi sampai 35 MPa, terutama karena kelangkaan data eksperimental dan lapangan mengenai perilaku komponen struktur yang terbuat dari beton ringan yang memikul pertukaran perpindahan dalam rentang non-linear. Jika kenyataannya meyakinkan dikembangkan untuk penerapan khusus, batas kekuatan tekan maksimum yang disyaratkan bagi beton ringan dapat ditingkatkan sampai suatu level yang didukung oleh kenyataan.

R.7.1.5 Penulangan dalam portal momen khusus dan dinding struktural khusus

Penggunaan tulangan longitudinal dengan kekuatan yang nyata lebih tinggi daripada yang dimisalkan dalam desain berakibat kepada tegangan geser dan lekatan yang lebih besar pada saat pengembangan momen leleh. Kondisi ini dapat berakibat keruntuhan getas dalam geser dan lekatan sehingga harus dihindarkan bahkan jika keruntuhan yang demikian dapat terjadi pada beban-beban yang lebih tinggi dari pada yang diantisipasi dalam desain. Karena itu, suatu batas atas dikenakan pada kekuatan leleh aktual dari baja (lihat 7.1.5.2(a)).

Persyaratan untuk kekuatan tarik yang lebih besar dari kekuatan leleh tulangan (7.1.5.2(b)) didasarkan atas asumsi bahwa kemampuan dari komponen struktural untuk mengembangkan kapasitas rotasi inelastis merupakan fungsi daripada panjang daerah leleh sepanjang sumbu komponen struktur. Dalam menafsirkan hasil-hasil eksperimental, panjang daerah meleleh telah dikaitkan dengan besaran relatif momen nominal dan momen leleh.^{21.8} Sesuai dengan interpretasi ini, semakin besar rasio momen nominal terhadap momen leleh, semakin panjang daerah leleh. Bab 7 menyatakan bahwa rasio kekuatan tarik aktual terhadap kekuatan leleh aktual tidak boleh kecil dari 1,25. Komponen-komponen struktur dengan tulangan yang tidak memenuhi kondisi ini juga dapat mengembangkan rotasi inelastis, tetapi perilakunya sangat berbeda nyata dalam mengecualikan mereka dari pertimbangan langsung berdasarkan peraturan-peraturan dasar yang diturunkan dari pengalaman dengan komponen-komponen struktur yang ditulangi dengan baja beregang mengeras.

Batas-batas nilai f_y atau f_{yt} berlaku untuk semua tulangan transversal, termasuk tulangan spiral, gelang lingkaran, gelang rektilinear, dan silang. Pembatasan nilai f_y dan f_{yt} dalam 11.4.2 ACI 318-08 dalam perhitungan kekuatan geser nominal dimaksudkan untuk membatasi lebar retak geser. Hasil akhir penelitian^{21.9-21.11} bahwa kekuatan leleh yang lebih besar dapat digunakan secara efektif sebagai penulangan pengekan seperti disyaratkan dalam 7.6.4.4.

R7.1.6 Sambungan mekanis dalam portal momen khusus dan dinding struktural khusus

Pada suatu struktur yang mengalami deformasi elastis sewaktu gempa, tegangan tarik dalam tulangan dapat mendekati kekuatan tarik tulangan. Persyaratan untuk sambungan mekanis Tipe 2 dimaksudkan untuk menghindari kegagalan sambungan bila tulangan

memikul level tegangan yang diharapkan dalam daerah pelelehan. Sambungan Tipe 1 tidak disyaratkan memenuhi persyaratan yang lebih ketat yang berlaku untuk sambungan Tipe 2, dan kemungkinan tidak mampu memikul level tegangan yang diharapkan dalam daerah pelelehan. Rotasi sambungan Tipe 1 dibatasi karena tegangan-tegangan tarik dalam daerah pelelehan tulangan dapat melebihi persyaratan kekuatan dalam 12.14.3.2 ACI 318-08.

Praktek pendetailan yang direkomendasikan akan mendahulukan penggunaan sambungan pada daerah leleh potensial dalam komponen struktur yang menahan efek gempa. Jika penggunaan sambungan mekanis pada daerah pelelehan potensial tidak dapat dihindarkan, harus ada dokumentasi mengenai karakteristik kekuatan aktual dari batang tulangan yang akan disambung, pada karakteristik gaya-deformasi dari batang tulangan yang disambung, dan pada kemampuan sambungan Tipe 2 untuk digunakan memenuhi persyaratan kinerja yang disyaratkan.

R7.1.7 Sambungan las dalam portal momen khusus dan dinding struktural khusus

R7.1.7.1 Pengelasan tulangan harus sesuai dengan AWS D1.4 seperti yang disyaratkan dalam Bab 3 ACI 318-08. Lokasi sambungan atas dibatasi karena tegangan tarik tulangan dalam daerah pelelehan dapat melebihi persyaratan 12.14.3.4 ACI 318-08.

R7.1.7.2 Pengelasan batang tulangan silang dapat berakibat kegetasan lokal tulangan. Jika pengelasan batang tulangan silang digunakan untuk memfasilitasi fabrikasi atau penempatan tulangan itu harus dilakukan hanya untuk tulangan yang ditambahkan untuk tujuan demikian. Larangan untuk pengelasan tulangan silang tidak berlaku terhadap batang tulangan yang dilas dengan pengerjaan pengerasan dibawah kontrol yang kompeten serta berkesinambungan seperti pada fabrikasi tulangan kawat las.

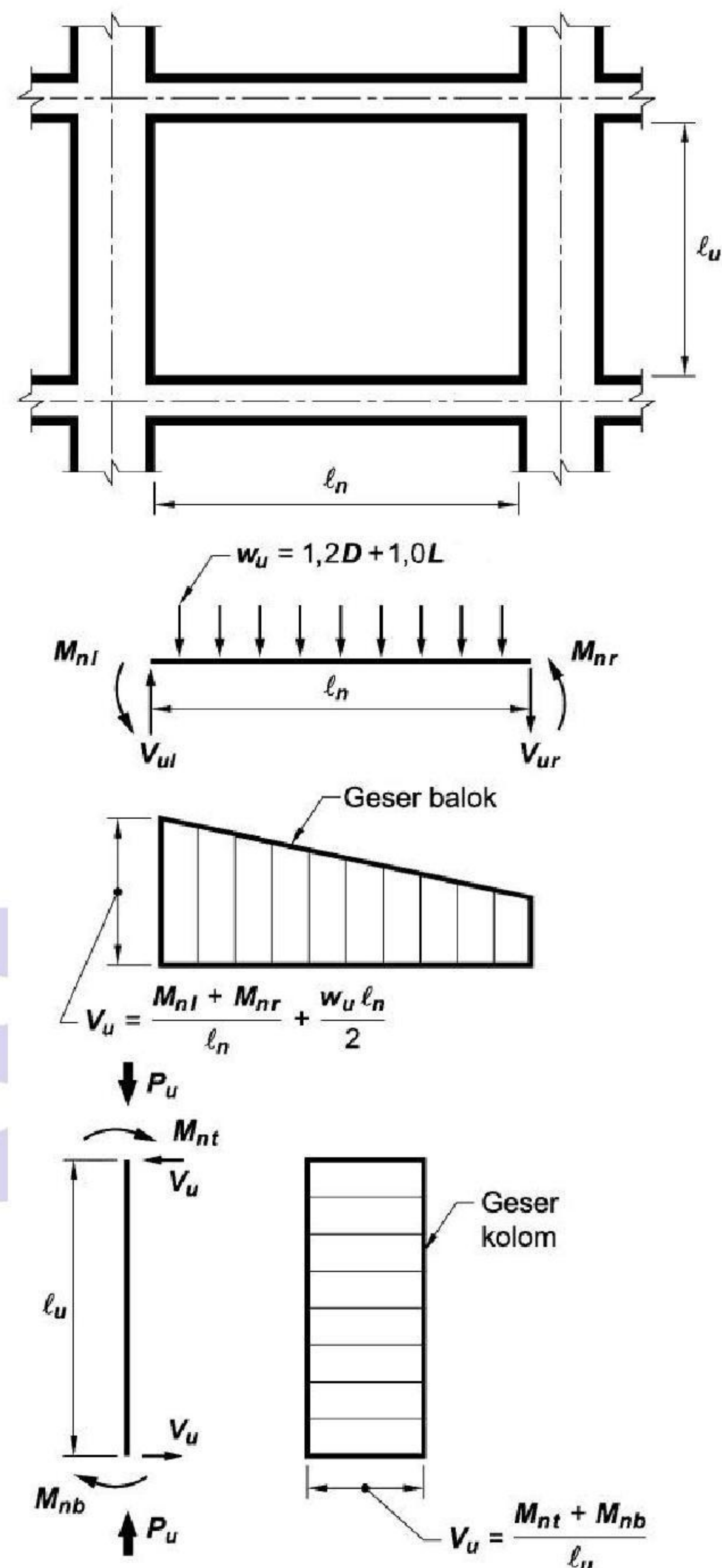
R7.2 Portal momen biasa

Ketentuan ini diperkenalkan pada peraturan tahun 2008 dan hanya berlaku untuk portal momen biasa yang digolongkan kepada KDG B. ketentuan untuk tulangan balok dimaksudkan untuk memperbaiki kesinambungan dalam perangkaan komponen portal seperti dibandingkan dengan ketentuan Bab 1 sampai Bab 18 dan karenanya meningkatkan ketahanan gaya lateral dan integritas struktur; ketentuan-ketentuan ini tidak berlaku pada portal momen slab-kolom. Ketentuan-ketentuan kolom dimaksudkan untuk memberi ketegaran tambahan untuk menahan geser kolom dengan proporsi yang jika sebaliknya akan membuatnya lebih rawan terhadap kegagalan geser akibat beban gempa.

R7.3 Portal momen menengah

Tujuan dari persyaratan dalam 7.3.3 adalah untuk memperkecil resiko kegagalan geser pada balok dan kolom selama gempa. Dua pilihan disediakan untuk menentukan gaya geser terfaktor.

Menurut pilihan 7.3.3 (a), gaya geser terfaktor ditentukan dari kekuatan momen nominal dari komponen struktur dan beban gravitas diatasnya. Contoh untuk suatu balok dan suatu kolom yang dijelaskan dalam Gambar R7.3.3.



Gambar R7.3.3 - Geser desain untuk portal momen menengah

Untuk menentukan geser balok maksimum, diasumsikan bahwa kekuatan momen nominalnya ($\phi = 1,0$) yang diperhitungkan secara serentak di kedua ujung dari bentang bersihnya. Seperti ditunjukkan dalam Gambar R7.3.3, geser tersebut dihubungkan dengan kondisi ini $\left[\frac{(M_{nl} + M_{nr})}{\ell_n} \right]$ yang ditambahkan secara aljabar terhadap geser akibat beban gravitas terfaktor untuk memperoleh geser desain untuk balok. Untuk contoh ini, kedua beban mati w_D dan beban hidup w_L telah diasumsikan terdistribusi secara merata.

Penentuan geser desain untuk suatu kolom yang juga dijelaskan untuk suatu contoh khusus dalam Gambar R7.3.3. Gaya aksial terfaktor, P_u , harus dipilih untuk mengembangkan kekuatan momen yang lebih besar dari kolom.

Pada semua aplikasi dari pilihan 7.3.3 (a), geser yang diperlukan yang dihitung untuk momen, yang bekerja searah jarum jam dan berlawanan jarum jam. Gambar R7.3.3 hanya memperlihatkan satu dari dua kondisi yang diperhitungkan untuk setiap komponen struktur. Pilihan (b) berdasarkan V_u akibat kombinasi beban yang termasuk efek gempa, E , dimana harus digandakan. Untuk contoh, kombinasi beban yang didefinisikan oleh Persamaan (9-5) ACI 318-08 akan

$$U = 1,2D + 2,0E + 1,0L$$

di mana E adalah nilai yang disyaratkan oleh peraturan yang berlaku.

Pasal 7.3.4 berisi persyaratan untuk memberikan balok dengan tingkat ambang ketangguhan. Tulangan transversal di ujung-ujung balok disyaratkan hoop. Dalam kebanyakan kasus, stirrup yang disyaratkan oleh 7.3.3 untuk gaya geser desain akan lebih dari yang disyaratkan oleh 7.3.4. Persyaratan 7.3.5 menyediakan tujuan yang sama untuk kolom.

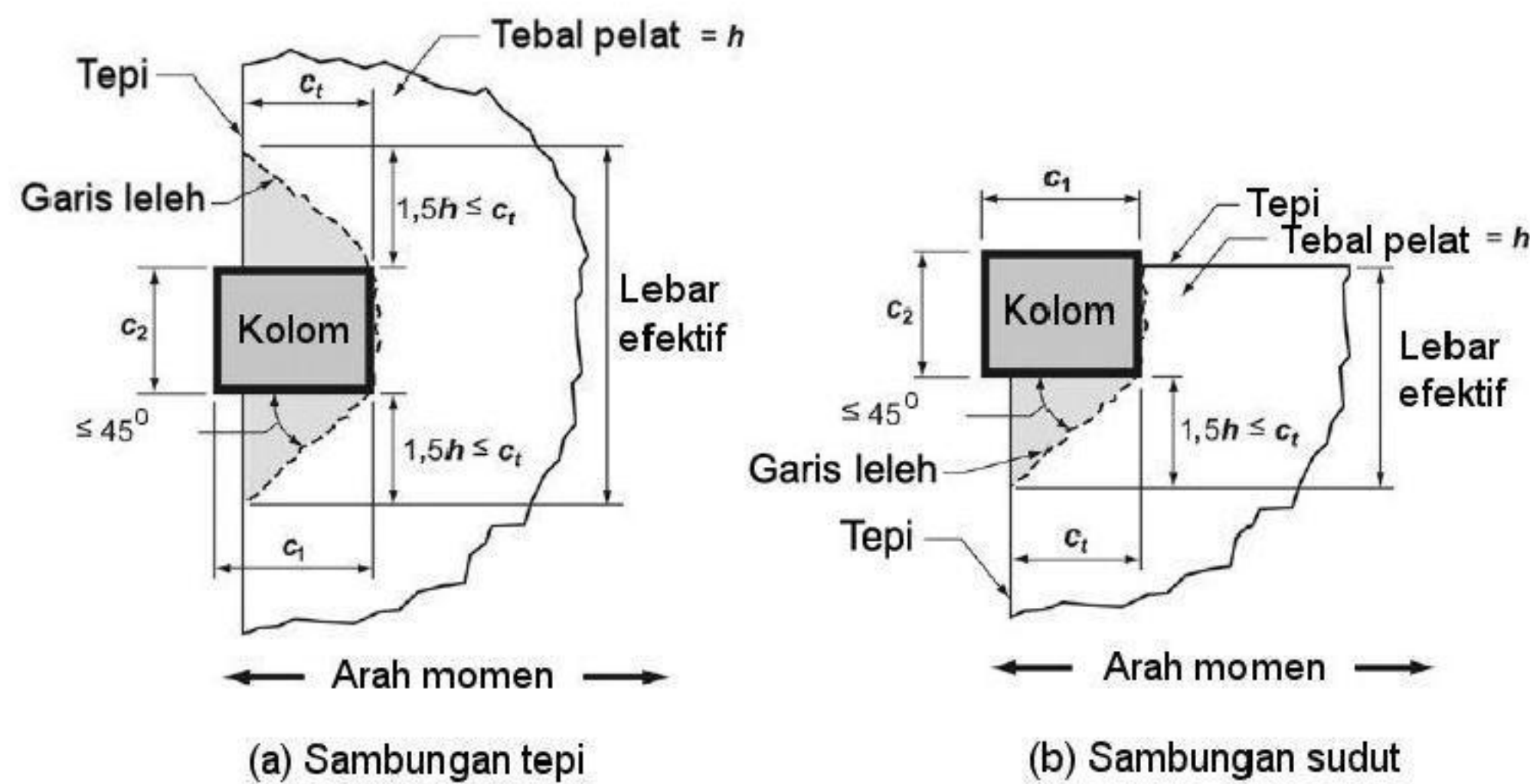
Dinding-dinding struktural diskontinu dan komponen struktur kaku lainnya dapat memikul gaya aksial yang besar untuk mendukung kolom selama gempa. Tulangan transversal yang diperlukan dalam 7.3.5.6 adalah untuk meningkatkan ketangguhan kolom akibat permintaan yang diantisipasi. Gaya tekan aksial terfaktor terkait dengan efek gempa harus mencakup faktor Ω_o jika diperlukan oleh peraturan bangunan gedung yang berlaku dimana peraturan ini merupakan bagian dari peraturan tersebut.

Pasal 7.3.6 yang digunakan pada pelat dua-arah tanpa balok, misalnya pelat rata.

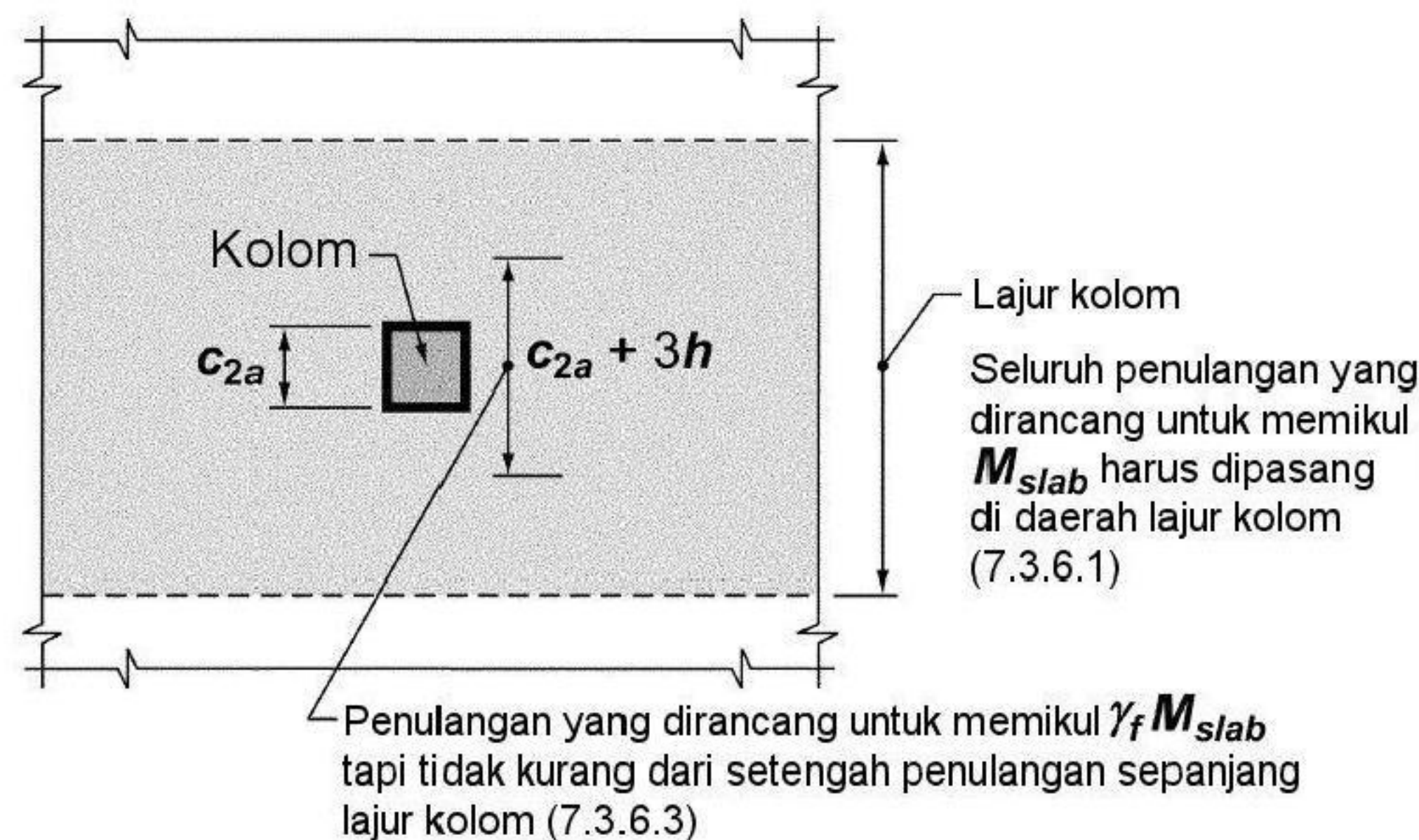
Penggunaan kombinasi beban dari Persamaan (9-5) ACI 318-08 dan Persamaan (9-7) ACI 318-08 dapat dihasilkan dalam momen-momen yang memerlukan tulangan atas dan bawah di tumpuan.

Untuk kombinasi beban desain tertentu dengan E yang bekerja dalam satu arah horisontal, momen M_{pelat} mengacu kepada bagian dari momen pelat terfaktor yang seimbang dengan komponen struktur pendukung di suatu joint. Besarnya tidak perlu sama dengan momen desain total di tumpuan untuk suatu kombinasi beban yang mencakup efek gempa. Menurut 13.5.3.2 ACI 318-08, hanya sebagian kecil dari momen M_{pelat} yang diberikan untuk lebar efektif pelat. Untuk sambungan tepi dan sudut, tulangan lentur yang tegak lurus terhadap tepi tidak diperhitungkan efektif secara penuh kecuali ditempatkan di lebar pelat efektif.^{21.12, 21.13} Lihat Gambar R7.3.6.1.

Penerapan ketentuan 7.3.6 dijelaskan dalam Gambar R7.3.6.2 dan R7.3.6.3.

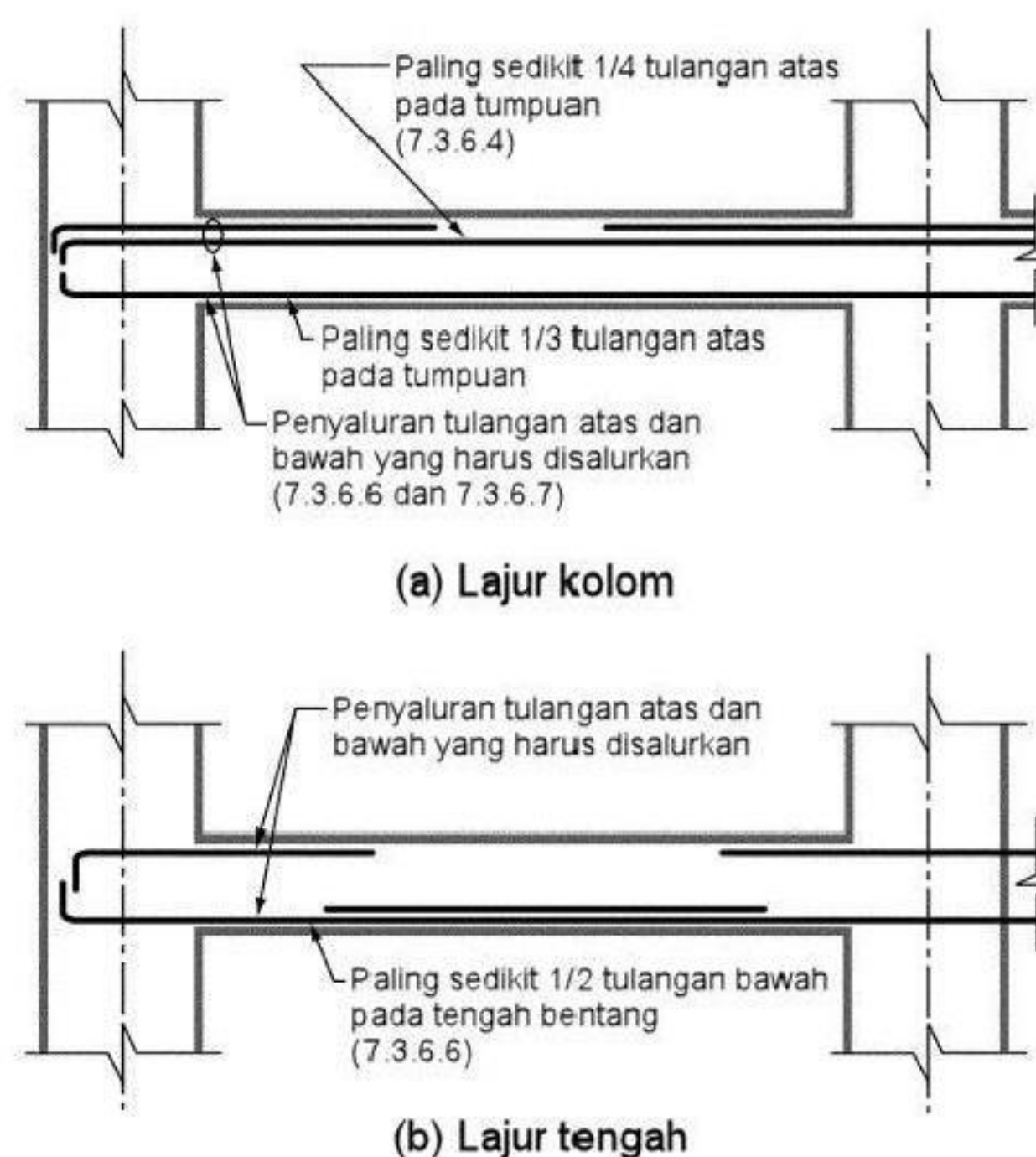


Gambar R7.3.6.1 – Lebar efektif untuk penempatan tulangan pada sambungan tepi dan sambungan sudut



Catatan: Ketentuan ini berlaku untuk tulangan atas dan bawah

Gambar R7.3.6.2 – Lokasi tulangan dalam pelat



Gambar R7.3.6.3 – Pengaturan tulangan dalam pelat

R7.3.6.8 Persyaratan yang berlaku untuk pelat dua arah ditunjuk merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa. Sambungan pelat-kolom dalam uji laboratorium^{21.13} menunjukkan daktilitas perpindahan lateral tereduksi bila geser pada sambungan kolom melebihi batas yang direkomendasikan. Sambungan pelat-kolom juga harus memenuhi persyaratan kekuatan geser dan momen Bab 11 ACI 318-08 dan Bab 13 ACI 318-08 akibat kombinasi beban yang mencakup efek gempa.

R7.4 Dinding struktural pracetak menengah

Sambungan-sambungan antara panel dinding pracetak atau antara panel-panel dinding dan fondasi yang diperlukan untuk menahan gaya induksi akibat pergerakan gempa dan untuk memberi pelelehan disekitar sambungan. Bila digunakan sambungan mekanikal Tipe 2 untuk menyambung secara langsung tulangan utama, kekuatan sambungan harus dimungkinkan sedikitnya 1 ½ kali kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan.

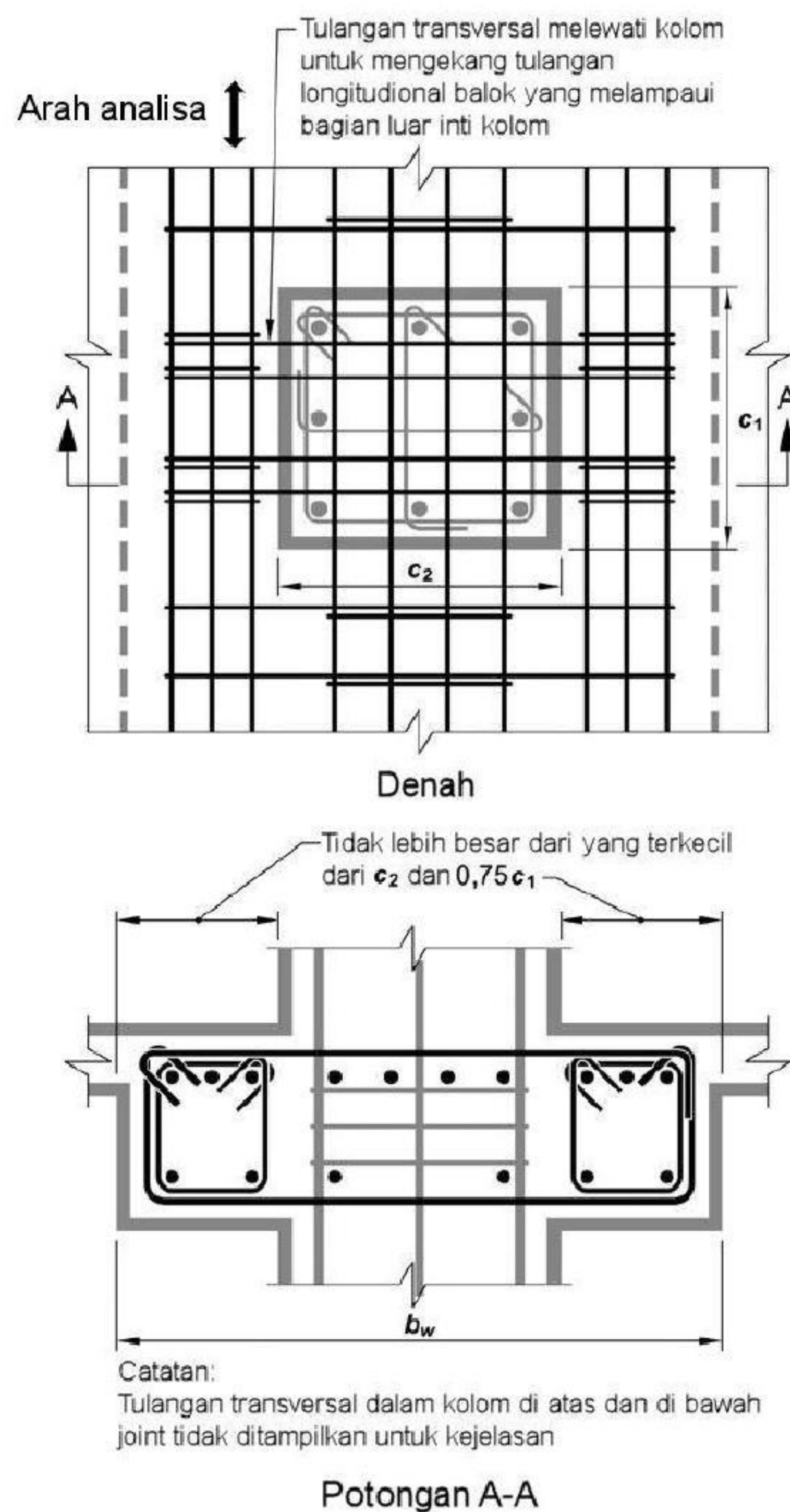
R7.5 Komponen struktur lentur dari portal momen khusus

R7.5.1 Ruang lingkup

Pasal ini mengacu pada balok dari portal momen khusus yang menahan beban lateral induksi melalui pergerakan gempa. Setiap komponen struktur portal yang menahan suatu gaya tekan aksial terfaktor yang melebihi $(A_g f'_c / 10)$ akibat masing-masing kombinasi beban diproporsikan dan didetail seperti dijelaskan dalam 7.6.

Bukti eksperimental^{21.14} menunjukkan bahwa, akibat penyesuaian kembali dari perpindahan ke rentang non-linier, perilaku dari komponen struktur menerus yang memiliki rasio tinggi-terhadap-panjang kurang dari 4 adalah perbedaan signifikan dari perilaku dari komponen struktur langsing relatif. Peraturan desain yang berasal dari pengalaman dengan komponen struktur langsing relatif tidak boleh digunakan secara langsung pada komponen struktur dengan rasio tinggi-terhadap-panjang kurang dari 4, khususnya yang berkenaan dengan kekuatan geser.

Kendala geometris yang ditunjukkan dalam 7.5.1.3 dan 7.5.1.4 berasal dari praktek dan penelitian^{21.8} pada portal beton bertulang yang menahan gaya induksi-gempa. Batas dalam 7.5.1.4 mengakui bahwa lebar balok efektif maksimum tergantung terutama pada dimensi kolom bukan pada kedalaman balok, seperti yang disarankan dalam versi SNI 2005 dan versi awal dari peraturan. Sebuah contoh dari lebar balok efektif maksimum yang ditunjukkan dalam Gambar R7.5.1.



Gambar R7.5.1 – Lebar efektif maksimum dari balok lebar dan tulangan transversal yang diperlukan

R7.5.2 Tulangan longitudinal

Pasal 10.3.5 ACI 318-08 yang membatasi regangan tarik netto, ε_t , sehingga secara tidak langsung membatasi rasio tulangan tarik di suatu komponen struktur lentur untuk sebagian kecil dari jumlah yang akan menghasikan kondisi seimbang. Untuk suatu penampang yang hanya menahan lentur dan dibebani secara monoton sampai leleh, pendekatan ini layak karena kemungkinan kegagalan tekan dapat diperkirakan dengan andal dengan model perilaku diasumsikan untuk menentukan rasio tulangan sesuai dengan kegagalan seimbang. Model perilaku yang sama (karena asumsi yang salah seperti distribusi regangan linier, titik leleh yang didefinisikan dengan baik untuk baja, batasan regangan tekan pada beton 0,003, dan tegangan-tegangan tekan dalam cangkang beton) tidak menggambarkan kondisi dalam suatu komponen struktur lentur yang dikenakan penyesuaian kembali perpindahan baik ke rentang inelastis. Oleh karena itu, ada sedikit alasan untuk merujuk pada kondisi yang seimbang pada desain penahan-gempa dari struktur beton bertulang.

R7.5.2.1 Pembatasan rasio tulangan 0,025 yang terutama didasarkan pada pertimbangan dari pengelompokan baja dan, tidak secara langsung, pembatasan tegangan geser pada balok dari proporsi tipikal. Persyaratan dari sedikitnya dua batang tulangan, atas dan bawah, mengacu lagi ke konstruksi daripada perilaku persyaratan.

R7.5.2.3 Sambungan lewatan dari tulangan dilarang di daerah dimana leleh lentur diantisipasi karena sambungan yang demikian tidak dapat diandalkan terhadap kondisi beban siklik di rentang inelastis. Tulangan transversal pada sambungan lewatan harus dipasang di setiap lokasi karena kemungkinan kehilangan cangkang beton.

R7.5.2.5 Ketentuan ini dikembangkan, dalam bagian, berdasarkan pengamatan kinerja bangunan gedung akibat gempa.^{21.15} Untuk penghitungan prategang rata-rata, dimensi penampang terkecil dalam suatu balok biasanya adalah dimensi badan, dan tidak dimaksudkan mengacu ke ketebalan sayap. Pada daerah sendi plastis potensial, pembatasan regangan dan persyaratan untuk tendon tanpa lekatan dimaksudkan untuk mencegah retak tendon akibat deformasi gempa inelastis. Perhitungan regangan pada baja prategang diperlukan dalam memperhitungkan mekanisme inelastis yang diantisipasi dari struktur. Untuk baja prategang tanpa lekatan sepanjang bentang balok penuh, umumnya regangan akan jauh di bawah batas yang disyaratkan. Untuk baja prategang dengan panjang tanpa lekatan pendek melalui atau berdekatan dengan joint, regangan tambahan akibat deformasi gempa dihitung sebagai produk dari kedalaman terhadap sumbu netral dan jumlah rotasi sendi plastis pada joint, dibagi dengan panjang tanpa lekatan.

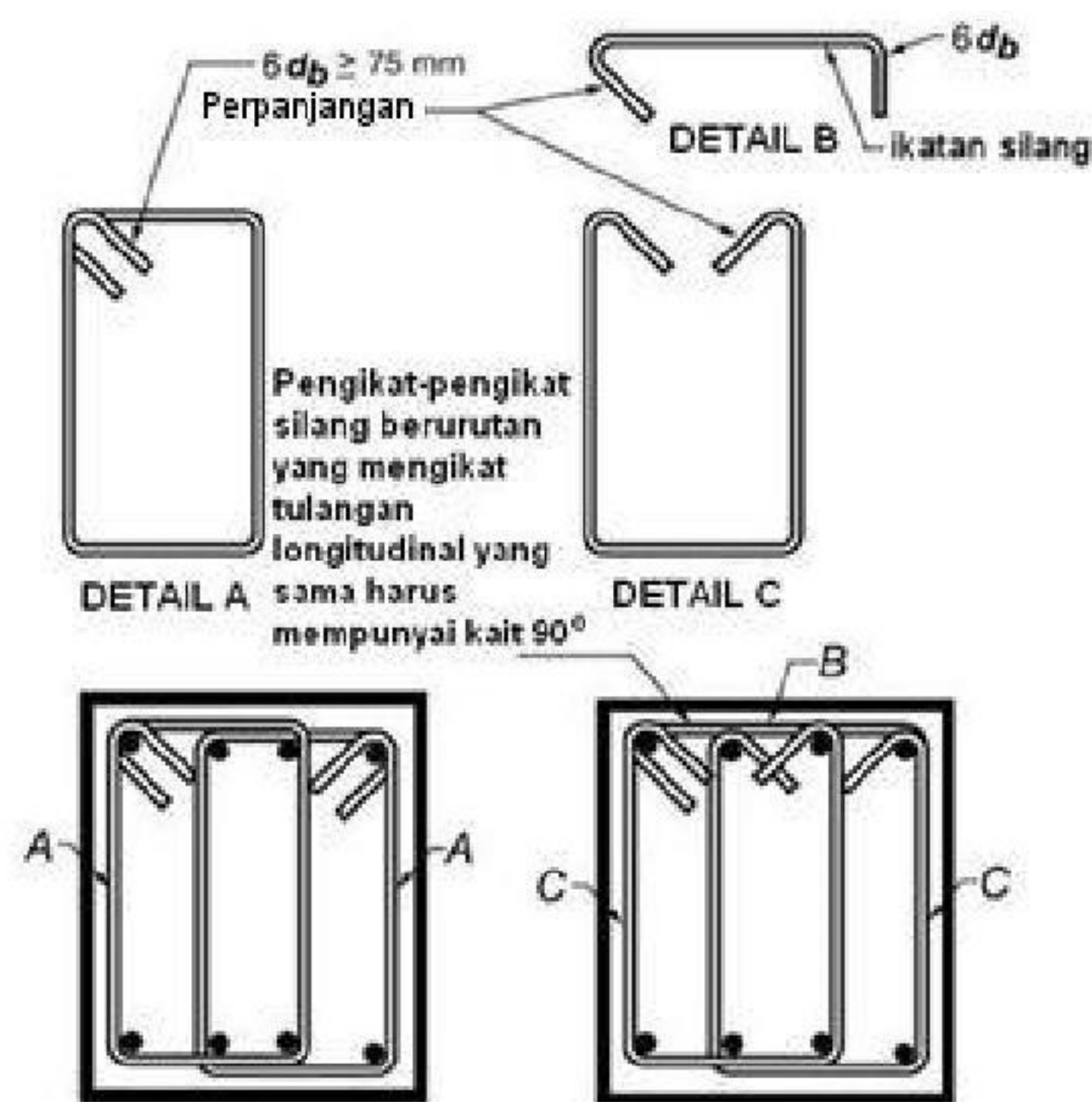
Pembatasan kekuatan lentur yang diberikan oleh tendon adalah berdasarkan hasil analisis dan penelitian eksperimental.^{21.16-21.18} Walaupun kinerja gempa yang memuaskan dapat diperoleh dengan jumlah lebih besar dari baja prategang, pembatasan ini diperlukan untuk memungkinkan penggunaan dari modifikasi respon yang sama dan faktor amplifikasi defleksi seperti disyaratkan dalam peraturan model untuk portal momen khusus tanpa baja prategang. Portal momen khusus prategang yang umumnya mengandung baja prategang menerus yang diangkurkan dengan selimut yang memadai pada atau di luar muka eksterior dari setiap sambungan balok-kolom yang terletak pada ujung-ujung portal momen.

Pengujian fatik untuk 50 siklik pembebanan antara 40 persen dan 80 persen dari kekuatan tarik yang disyaratkan dari baja prategang yang telah menjadi praktek industri yang telah lama berdiri.^{21.15, 21.19} Batas 80 persen yang ditingkatkan sampai 85 persen sesuai dengan batas 1 persen pada regangan dalam baja prategang. Pengujian di atas rentang dari tegangan ini dimaksudkan untuk simulasi konservatif efek dari gempa besar. Detail tambahan pada prosedur pengujian, tetapi tingkat tegangan yang berbeda, diberikan dalam Referensi 7.19.

R7.5.3 Tulangan transversal

Tulangan transversal diperlukan terutama untuk mengekang beton dan mempertahankan penumpu lateral batang tulangan yang memperkuat daerah dimana leleh diharapkan terjadi. Contoh-contoh hoop yang sesuai untuk komponen struktur lentur portal yang tertera dalam Gambar R7.5.3.

Pada kasus komponen struktur dengan kekuatan yang bervariasi sepanjang bentang atau komponen struktur yang beban tetap merupakan suatu proporsi lebih besar dari beban total desain, maka pemusatan rotasi inelastis dapat terjadi dalam bentang tersebut. Jika kondisi ini diantisipasi, tulangan transversal juga harus disediakan pada daerah dimana leleh diharapkan terjadi.



Gambar R7.5.3 – Contoh dari hoop overlapping

Karena pecahan cangkang beton diantisipasi selama gerakan kuat, khususnya daerah di dan dekat dari pelelehan lentur, semua tulangan badan harus disediakan dalam bentuk hoop tertutup seperti dijelaskan dalam 7.5.3.5.

R7.5.4 Persyaratan Kekuatan Geser

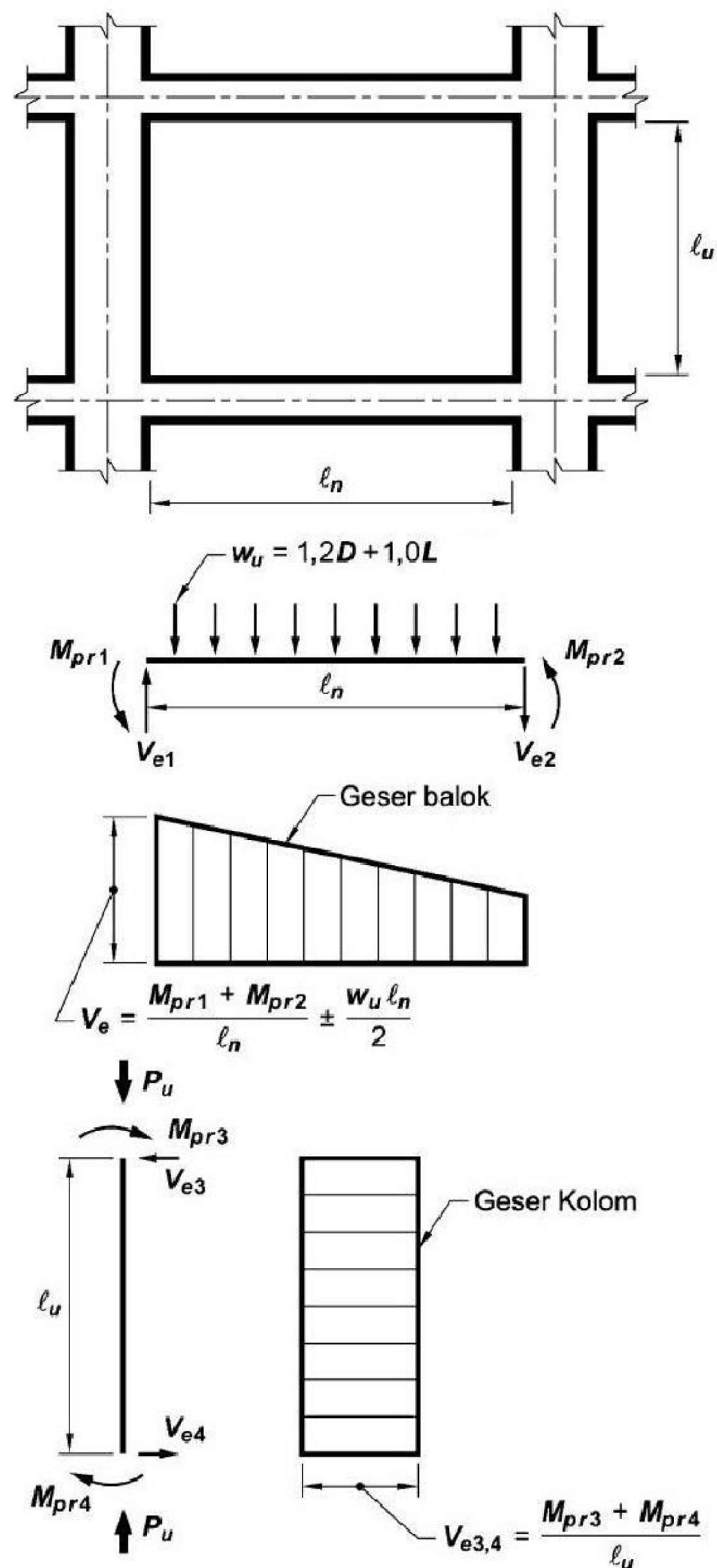
R7.5.4.1 Gaya-gaya desain

Pada penentuan gaya-gaya lateral ekuivalen yang mewakili efek gempa untuk tipe portal yang diperhitungkan, dapat diasumsikan bahwa komponen struktur portal akan berdisipasi energi pada rentang non-linear dari respon. Kecuali suatu komponen struktur portal memiliki kekuatan yang ada kira-kira 3 atau 4 dari gaya-gaya desain, harus diasumsikan bahwa akan terjadi leleh pada saat terjadi gempa kuat. Gaya geser desain harus menjadi pendekatan yang baik dari geser maksimum yang dapat terjadi pada komponen struktur. Oleh karena itu, kekuatan geser yang diperlukan untuk komponen struktur portal terkait dengan kekuatan lentur dari komponen struktur yang dirancang dari gaya-gaya geser terfaktor yang ditunjuk oleh analisis beban lateral. Kondisi tersebut dijelaskan oleh 7.5.4.1, tertera dalam Gambar R7.5.4.

Karena kekuatan leleh aktual tulangan longitudinal dapat melebihi kekuatan leleh yang disyaratkan dan karena pengerasan regangan dari tulangan mungkin terjadi di joint yang mengalami rotasi yang besar, kekuatan geser yang diperlukan ditentukan dengan menggunakan suatu tegangan sedikitnya $1,25 f_y$ pada tulangan longitudinal.

Catatan dalam Gambar R7.5.4:

1. Arah gaya geser V_e tergantung pada besaran relatif beban gravitasi dan geser yang dihasilkan oleh momen ujung.
2. Momen ujung M_{pr} yang berdasarkan tegangan tarik baja $1,25 f_y$, dimana f_y adalah kekuatan leleh yang disyaratkan. (Kedua momen ujung harus diperhitungkan dalam kedua arah, searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam).
3. Momen ujung M_{pr} untuk kolom tidak perlu lebih besar dari momen yang dihasilkan oleh M_{pr} dari balok-balok yang merangka masuk ke joint kolom-balok. V_e tidak boleh kurang dari yang diperlukan oleh analisis struktur tersebut.



Gambar R7.5.4 – Geser desain untuk balok dan kolom

R7.5.4.2 Tulangan transversal

Penelitian eksperimental^{21.20,21.21} komponen struktur beton bertulang yang menahan beban siklik telah membuktikan bahwa tulangan geser lebih diperlukan untuk memastikan kegagalan lentur jika komponen struktur memikul perpindahan non-linier sebagai alternatif dari pada jika komponen struktur dibebani hanya dalam satu arah: perlu menambah tulangan geser yang lebih besar dalam kasus tanpa beban aksial. Pengamatan ini dicerminkan dalam peraturan tersebut (lihat 7.5.4.2) melalui eliminasi istilah yang mewakili kontribusi beton terhadap kekuatan geser. Konservatif yang ditambahkan pada geser dianggap perlu dalam lokasi dimana sendi lentur potensial dapat terjadi. Namun, siasat ini, dipilih karena relatif sederhana, tidak boleh diinterpretasikan bahwa tidak ada beton yang diperlukan untuk menahan geser. Sebaliknya, dapat dikatakan bahwa inti beton menahan semua dengan tulangan (melintang) geser dengan mengekang dan memperkuat beton. Inti beton yang

terkekang memainkan peran penting dalam perilaku balok dan tidak boleh direduksi seminimal mungkin hanya karena ekspresi desain tidak secara eksplisir mengakui hal ini.

R7.6 Komponen struktur portal momen khusus yang memikul lentur dan beban aksial

R7.6.1 Ruang lingkup

Pasal 7.6.1 terutama dimaksudkan untuk kolom-kolom portal momen khusus. Komponen struktur portal, selain kolom, yang tidak memenuhi 7.5.1 harus diproporsikan dan didetail sesuai pasal ini. Ketentuan ini berlaku untuk komponen struktur portal untuk semua kombinasi beban jika beban aksial melebihi $0,1A_g f'_c$ pada setiap kombinasi beban.

Kendala geometris dalam 7.6.1.1 dan 7.6.1.2 mengikuti dari pratek sebelumnya.^{21,22}

R7.6.2 Kekuatan lentur minimum dari kolom

Maksud dari 7.6.2.2 adalah untuk mengurangi kemungkinan pelelehan pada kolom yang diperhitungkan sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa. Jika kolom tidak lebih kuat dari balok yang terhubung di dalam suatu joint, ada kemungkinan terjadi aksi inelastis. Dalam kasus terburuk dari kolom lemah, pelelehan lentur dapat terjadi pada kedua ujung dari semua kolom dalam suatu tingkat, sehingga mekanisme kegagalan kolom dapat menyebabkan keruntuhan.

Dalam 7.6.2.2, kekuatan nominal gelagar dan kolom dihitung pada muka-muka joint, dan kekuatan-kekuatan tersebut dibandingkan secara langsung menggunakan Persamaan (28). Peraturan 1995 kekuatan desain perlu yang dibandingkan pada pusat dari joint, di mana secara tipikal dihasilkan hasil yang sama tetapi dengan upaya menambahkan penghitungan.

Bila penentuan kekuatan lentur nominal dari suatu penampang gelagar mengalami lentur negatif (bagian atas mengalami tarik), tulangan longitudinal yang terkandung dalam lebar sayap efektif dari pelat bagian atas yang bekerja secara monolit dengan gelagar akan meningkatkan kekuatan gelagar tersebut. Penelitian^{21,23} pada perakitan balok-kolom akibat beban lateral menunjukkan bahwa dengan menggunakan lebar sayap efektif yang didefinisikan dalam 8.10 memberi perkiraan yang layak dari kekuatan lentur negatif gelagar dari sambungan interior pada level perpindahan interstory mendekati 2 persen dari tinggi tingkat. Lebar efektif ini konservatif di mana pelat dihentikan pada spadrel lemah.

Jika 7.6.2.2 tidak dapat dipenuhi pada suatu joint, 7.6.2.3 menyatakan bahwa setiap kontribusi positif dari kolom atau kolom dilibatkan pada kekuatan lateral dan kekakuan struktur harus diabaikan. Kontribusi negatif dari kolom atau kolom tidak boleh diabaikan. Untuk contoh, pengabaian kekakuan kolom seharusnya tidak digunakan sebagai pembenaran untuk mereduksi geser dasar desain. Jika dimasukkannya kolom dalam model analisis dari bangunan gedung yang dihasilkan dalam meningkatkan efek puntir, peningkatan harus diperhitungkan sebagai diperlukan oleh pengaturan peraturan. Selanjutnya, kolom harus diberi tulangan transversal untuk meningkatkan ketangguhannya untuk menahan gaya geser dan aksial.

R7.6.3 Tulangan longitudinal

Batas paling rendah luas tulangan longitudinal adalah untuk mengendalikan deformasi yang tergantung pada waktu dan untuk memperoleh momen leleh yang lebih tinggi dari momen retak. Batas atas penampang mencerminkan kekuatiran akan kesesakan tulangan, transfer beban dari elemen lantai ke kolom (khususnya pada konstruksi bangunan bersusun rendah) dan pengembangan tegangan geser tinggi.

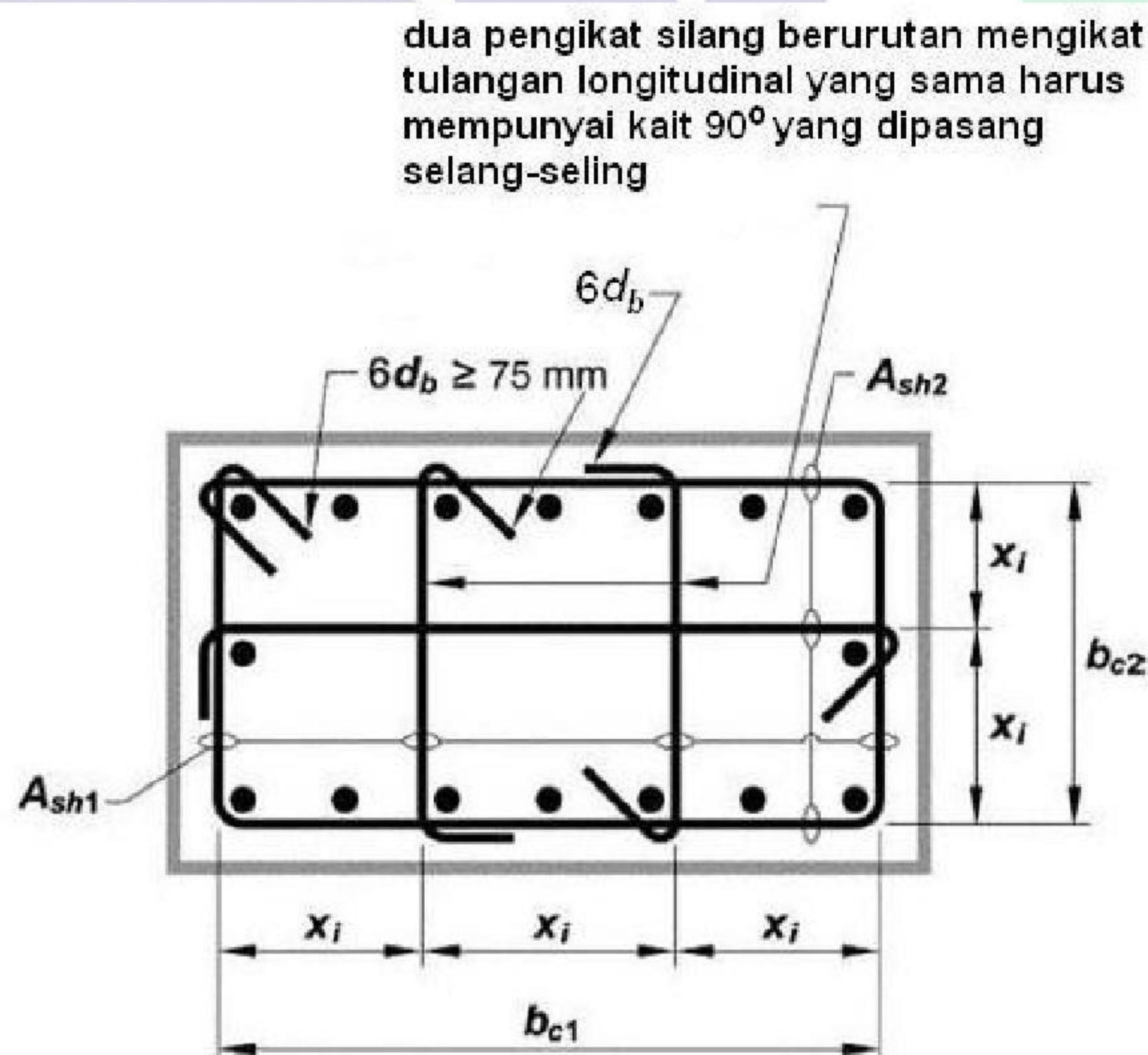
Melotoknya beton cangkang, yang kemungkinan terjadi di sekitar ujung kolom dalam portal berkonfigurasi tipikal, membuat splices lewatan pada lokasi ini menjadi rawan. Jika splices lewatan terpaksa digunakan, mereka harus ditempatkan dekat pertengahan tinggi dimana perubahan tanda tegangan cenderung dibatasi hingga kisaran retak tegangan kecil ketimbang pada lokasi di dekat joint. Tulangan transversal diperlukan sepanjang panjang splices lewatan karena ketidakpastian dalam distribusi momen sepanjang tinggi dan keperluan pengekanan splices lewatan yang memikul pembalikan tegangan.^{21.24}

R7.6.4 Tulangan transversal

Persyaratan dari pasal ini terkait dengan pengekanan beton dan yang memberi dukungan lateral terhadap tulangan longitudinal.

R7.6.4.1 Pasal 7.6.4.1 menetapkan panjang minimum di mana untuk memberikan tulangan transversal berspasi rapat di ujung-ujung komponen struktur, bila terjadi pelelehan lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang tersebut harus ditambah sebesar 50 persen atau lebih di lokasi, misalnya dasar dari bangunan gedung, bila beban aksial dan kebutuhan lentur kemungkinan secara khusus tinggi.^{21.25}

R7.6.4.2 Pasal 7.6.4.2 dan 7.6.4.3 memberi persyaratan untuk konfigurasi tulangan transversal untuk kolom dan joint dari portal momen khusus. Gambar R7.6.4.2 memperlihatkan suatu contoh tulangan transversal yang disediakan dengan satu hoop dan tiga ikatan silang. Dalam penyediaan pengekanan, ikatan silang dengan suatu kait 90° tidak efektif sebagai ikatan silang dengan kait 135° atau hoop. Pengujian menunjukkan bahwa jika ujung-ujung ikatan silang dengan kait-kait 90° adalah berseling, maka pengekanan akan cukup.



Catatan:

Dimensi x_i antar titik pusat tulangan kaki sengkang pengikat tidak melebihi 350 mm. Notasi h_x yang digunakan pada persamaan 27 diambil sebagai nilai terbesar dari x_i

Gambar R7.6.4.2 – Contoh dari tulangan transversal pada kolom

R7.6.4.3 Persyaratan bahwa spasi yang tidak melebihi seperempat dari dimensi komponen struktur minimum memperoleh pengekanan beton yang memadai. Persyaratan bahwa spasi tidak melebihi enam kali diameter batang tulangan dimaksudkan untuk membatasi tekuk tulangan longitudinal setelah pelotokan. Spasi 100 mm adalah untuk pengekanan beton; 7.6.4.3.3 mengizinkan pengenduran batas ini hingga maksimum 150 mm jika spasi tulangan silang atau kaki hoop sambungan overlap kurang dari 200 mm.

R7.6.4.4 Pengaruh dari tulangan spiral dan tulangan hoop rektilinear yang diatur secara memadai atas kekuatan dan daktilitas kolom telah ditetapkan dengan baik.^{21.26} Bila prosedur analitis ada untuk perhitungan kapasitas kekuatan dan daktilitas kolom akibat pembalikan aksial dan momen,^{21.27} kebutuhan beban aksial dan deformasi sewaktu pembebanan gempa tidak diketahui dengan akurasi yang cukup untuk membenarkan perhitungannya tulangan transversal yang diperlukan sebagai fungsi dari kebutuhan gempa desain. Ketimbang itu, diperlukan Persamaan (26) dan Persamaan (32), dengan tujuan bahwa pelotokan beton cangkang tidak berakibat kehilangan kekuatan beban aksial kolom. Persamaan (30) dan Persamaan (33) menentukan untuk kolom berdiameter besar, dan ditujukan untuk menjamin kecukupan dari kapasitas lengkungan lentur dalam daerah pelelehan.

Persamaan (32) dan (33) harus dipenuhi pada kedua arah penampang silang dari inti persegi. Untuk masing-masing arah, b_c adalah dimensi inti yang tegak lurus terhadap kaki sengkang pengikat yang mencakup A_{sh} seperti diperlihatkan dalam Gambar R7.6.4.2.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan leleh yang disyaratkan dalam 11.4.2 ACI 318-08 dapat digunakan secara efektif sebagai tulangan pengekanan. Tegangan f_{yt} sebesar 700 MPa diperkenankan dalam Persamaan (30), (32) dan (33) dimana ASTM A1035M digunakan sebagai tulangan pengekanan.

R7.6.4.5 Ketentuan 7.6.4.5 dimaksudkan untuk menyediakan perlindungan dan daktilitas yang memadai pada pertengahan tinggi kolom di luar panjang ℓ_o . Pengamatan setelah gempa menunjukkan kerusakan yang berarti pada kolom dalam daerah ini, dan sengkang pengikat atau spiral minimum yang diperlukan harus menyediakan ketegaran yang lebih merata di sepanjang kolom.

R7.6.4.6 Kolom yang menyanggah komponen-komponen kaku yang tidak menerus, misalnya dinding atau rangka sendi dapat mengembangkan respon inelastis yang signifikan. Oleh karena itu, disyaratkan bahwa kolom-kolom ini memiliki tulangan yang disyaratkan sepanjang ketinggian kolom. Ini mencakup semua kolom di bawah level pada mana komponen struktur kaku telah diputus, kecuali gaya-gaya terfaktor yang terkait dengan efek gempa adalah rendah. Lihat R7.11.7.5 untuk diskusi mengenai faktor kekuatan-lebih Ω_o yang berlaku dalam beberapa peraturan.

R7.6.4.7 Cangkang tidak bertulang boleh jadi melotok sewaktu kolom berdeformasi untuk menahan pengaruh gempa. Pemisahan bagian cangkang dari inti yang disebabkan oleh pelotokan lokal yang menimbulkan resiko kejatuhan. Penulangan tambahan diperlukan untuk mengurangi resiko bagian cangkang yang jatuh dari kolom.

R7.6.5 Persyaratan kekuatan geser

R7.6.5.1 Gaya desain

Prosedur 7.5.4.1 juga berlaku untuk komponen struktur yang memikul beban aksial (misalnya, kolom). Di atas lantai dasar, momen pada joint dapat dibatasi oleh kekuatan lentur balok yang merangka ke dalam joint. Bila balok merangka ke sisi yang berlawanan dari joint, kekuatan kombinasi dapat merupakan perjumlahan dari kekuatan momen negatif

dari balok pada satu sisi dari joint dan kekuatan momen positif dari sisi joint lainnya. Kekuatan momen harus ditentukan dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan sebesar 1,0 dan regangan baja tulangan sebesar paling tidak $1,25 f_y$. Distribusi kekuatan momen kombinasi dari balok kepada kolom di atas dan di bawah joint harus berdasarkan analisis. Nilai M_{pr} dalam Gambar R7.5.4 dapat dihitung dari kekuatan komponen struktur pada joint balok-kolom.

R7.7 Joint dari portal momen khusus

R7.7.2 Persyaratan umum

Pengembangan rotasi inelastis pada muka-muka joint dari portal beton bertulang terkait dengan regangan pada tulangan lentur pada kelebihan di atas regangan leleh. Akibatnya, gaya geser joint yang ditimbulkan oleh tulangan lentur yang dihitung untuk regangan sebesar $1,25 f_y$ dalam tulangan (lihat 7.7.2.1). Keterangan yang lebih rinci mengenai alasan pengembangan yang mungkin dari tegangan-tegangan di atas kekuatan leleh dalam tulangan tarik balok disediakan referensi 21.8.

R7.7.2.3 Penelitian^{21.28-21.32} telah menunjukkan bahwa batang tulangan balok lurus dapat selip di dalam joint balok kolom selama serangkaian pembalikan momen yang lebih besar. Tegangan-tegangan lekatan pada batang tulangan lurus ini boleh jadi sangat besar. Untuk mengurangi selip secara substansial selama pembentukan sendi balok berdekatan, adalah perlu untuk memiliki rasio dimensi kolom terhadap diameter batang tulangan sekitar $1/32$, yang akan berakibat joint berukuran sangat besar. Setelah meneliti kembali uji-uji yang ada, dipilih batas-batas $1/20$ dari tinggi kolom pada arah beban untuk ukuran maksimum batang tulangan balok untuk beton normal dan batas $1/26$ untuk beton ringan. Akibat kekurangan data khusus untuk batang tulangan balok dalam joint beton ringan, batas didasarkan atas faktor amplifikasi 1,3 dalam Bab 12 ACI 318-08 yang dimulai dengan peraturan tahun 1989. Faktor amplifikasi sedikit dimodifikasi dalam 2008 menjadi $1/0,75 = 1,33$, yang tidak mempengaruhi pasal peraturan ini. Batas-batas ini memberikan pengendalian yang seksama pada jumlah selip potensial batang tulangan balok pada joint balok-kolom, yang mempertimbangkan jumlah ekskursi inelastis yang diantisipasi dari portal bangunan gedung selama gempa kuat. Pembahasan mendalam mengenai topik ini diberikan dalam referensi 21.33.

R7.7.3 Tulangan transversal

Peraturan ini menyaratkan tulangan transversal dalam joint tanpa mempertimbangkan besar gaya geser terhitung. Dalam 7.7.3.2, jumlah tulangan pengekat dapat dikurangi dan spasi dapat ditingkatkan jika komponen horisontal merangka ke empat sisi joint.

Pasal 7.7.3.3 mengacu pada suatu joint di mana lebar balok melebihi dimensi kolom yang berkaitan. Dalam kasus yang demikian, tulangan balok yang tidak terkekang oleh tulangan kolom, harus diberi tumpuan lateral dengan merangkakan balok kepada joint yang sama atau dengan tulangan transversal.

Satu contoh tulangan transversal melalui kolom yang disediakan untuk mengekang tulangan balok yang melewati luar inti kolom ditunjukkan dalam Gambar R7.5.1. panduan pendetailan tambahan dan rekomendasi desain untuk kedua sambungan balok lebar interior dan eksterior dengan tulangan balok yang melewati luar inti kolom dapat ditemukan dalam Referensi 21.8.

R7.7.4 Kekuatan geser

Persyaratan dalam Bab 7 untuk memproporsikan joint berdasarkan dalam Referensi 21.8 pada fenomena perilaku dalam joint yang diinterpretasikan dalam bentuk kekuatan geser nominal dari joint tersebut. Karena pengujian dari joint^{21.28} dan balok tinggi^{21.14} menunjukkan bahwa kekuatan geser tidak begitu sensitif terhadap tulangan joint (geser) seperti tersirat oleh ekspresi yang dikembangkan oleh joint ACI-ASCE Committee 326^{21.34} untuk balok, Committee 318 mengatur kekuatan joint sebagai fungsi hanya dari kekuatan tekan beton (lihat 7.7.4) dan menyaratkan jumlah minimum tulangan transversal pada joint (lihat 7.7.3). Luas efektif joint A_j yang dijelaskan dalam Gambar R7.7.4. Dalam tanpa kasus A_j adalah lebih besar dari luas penampang kolom.

Level tiga dari kekuatan geser yang diperlukan oleh 7.7.4.1 yang berdasarkan rekomendasi ACI Committee 352.^{21.8} Data pengujian yang ditinjau oleh committee^{21.35} menunjukkan bahwa nilai terendah yang diberikan dalam 7.7.4.1 dari code 1983 adalah tak-konservatif bila digunakan untuk joint sudut.

Pengujian beban siklik dari joint dengan perluasan dari balok dengan panjang sedikitnya sama dengan kedalamannya telah menunjukkan kekuatan geser joint yang serupa dengan para joint dengan balok menerus. Hasil penyelidikan ini menunjukkan bahwa perluasan balok, bila benar didimensikan dan ditulangi dengan batang tulangan longitudinal dan transversal, maka akan memberi pengekanan efektif terhadap muka joint tersebut, sehingga menunda penurunan kekuatan joint pada deformasi yang lebih besar.^{21.36}



Gambar R7.7.4 – Luas joint efektif

R7.7.5 Panjang penyaluran batang tulangan dalam tarik

Panjang penyaluran minimum dalam tarik untuk batang tulangan ulir dengan kait standar yang ditanam pada beton normal ditentukan menggunakan Persamaan (34), didasarkan persyaratan 12.5 ACI 318-08. Karena Bab 7 menetapkan bahwa kait ditanam pada beton terkekang, koefisien 0,7 (untuk selimut beton) dan 0,8 (untuk sengkang pengikat) telah dimasukkan dalam konstanta yang digunakan dalam Persamaan (34). Panjang penyaluran

yang akan diturunkan secara langsung dari 12.5 ACI 318-08 ditambahkan untuk mencerminkan efek pembalikan beban.

Panjang penyaluran dalam tarik dari suatu batang tulangan ulir dengan suatu kait standar didefinisikan sebagai jarak, paralel terhadap batang tulangan, dari penampang kritis (di mana batang tulangan dikembangkan) ke garis singgung terhadap tepi luar kait tersebut. Garis singgung harus ditarik tegak lurus terhadap sumbu batang tulangan (lihat Gambar R12.5).

Faktor-faktor tersebut sebagai tegangan aktual pada penulangan yang lebih dari tegangan leleh dan panjang penyaluran efektif tidak harus mulai di muka dari joint yang secara implisit diperhitungkan dalam pengembangan ekspresi untuk panjang penyaluran dasar yang telah digunakan sebagai dasar untuk Persamaan (34).

Untuk beton ringan, panjang yang diperlukan oleh Persamaan (34) harus ditambah 25 persen untuk mengimbangi variabel karakteristik lekat batang tulangan dalam variasi tipe beton ringan.

Pasal 7.7.5.2 menyatakan panjang penyaluran minimum dalam tarik untuk batang tulangan lurus sebagai suatu pengali dari panjang yang ditunjukkan oleh 7.7.5.1. Pasal 7.7.5.2(b) mengacu pada batang tulangan atas.

Jika panjang penanaman lurus diperlukan dari suatu batang tulangan yang diperpanjang di luar volume beton terkekang (seperti dijelaskan dalam 7.5.3, 7.6.4, atau 7.7.3), panjang penyaluran perlu yang ditambahkan pada daerah sekitar yang membatasi tegangan lekat di luar daerah terkekang adalah kecil dari yang di dalam.

$$\ell_{dm} = 1,6(\ell_d - \ell_{dc}) + \ell_{dc}$$

atau

$$\ell_{dm} = 1,6\ell_d - 0,6\ell_{dc}$$

di mana ℓ_{dm} adalah panjang penyaluran perlu jika batang tulangan tidak ditanam secara keseluruhan pada beton terkekang, ℓ_d panjang penyaluran perlu dalam tarik untuk batang tulangan lurus yang ditanam pada beton terkekang, dan ℓ_{dc} panjang batang tulangan yang ditanam pada beton terkekang.

Ketidakcukupan referensi untuk batang tulangan 43 mm (No. 43) dan 57,3 mm (No. 57) dalam 7.7.5 akibat kurangnya informasi pada pengangkutan batang tulangan tersebut yang memikul beban balik simulasi efek gempa.

R7.8 Portal momen khusus yang dibangun menggunakan beton pracetak

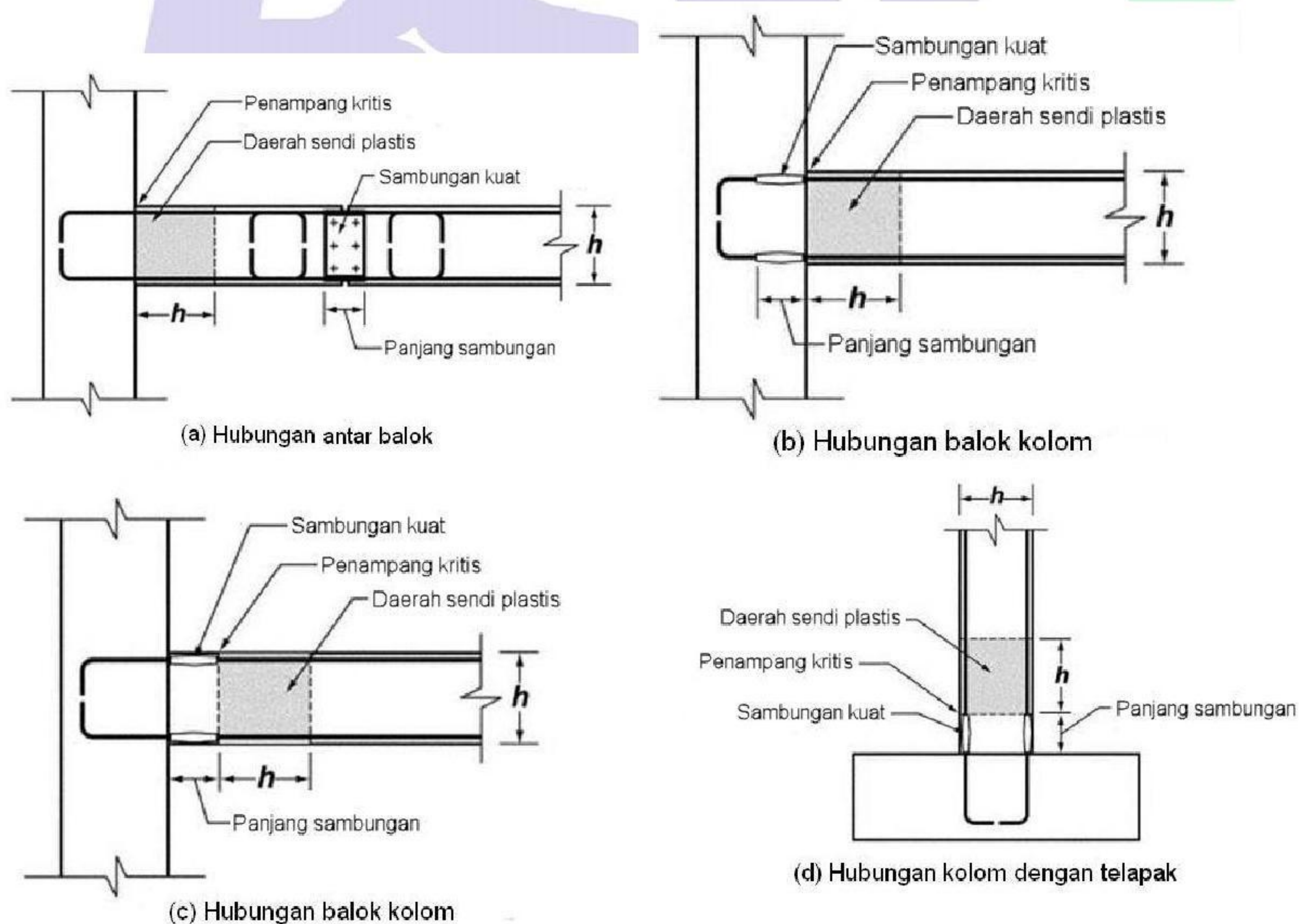
Ketentuan-ketentuan yang detail dalam 7.8.2 dan 7.8.3 dimaksudkan untuk menghasilkan portal yang pada dasarnya merespon perpindahan desain seperti portal momen khusus.

Sistem portal pracetak disusun dari elemen-elemen beton dengan sambungan daktail yang diharapkan mengalami leleh lentur pada daerah sambungan. Tulangan pada sambungan daktail dapat dibuat menerus dengan menggunakan sambungan mekanis Tipe 2 atau teknik lainnya yang memberi pengembangan dalam tarik atau tekan sedikitnya 125 persen dari kekuatan leleh yang disyaratkan f_y dari batang tulangan dan kekuatan tarik yang disyaratkan dari batang tulangan.^{21.37 - 21.40} Persyaratan untuk sambungan mekanis yang

merupakan tambahan dalam 7.1.6 dan dimaksudkan untuk menghindari pemusatan regangan disepanjang suatu panjang terpendek dari tulangan yang berdekatan dengan alat splice. Persyaratan tambahan untuk kekuatan geser yang diberikan dalam 7.8.2 untuk mencegah sliding/gelincir pada muka-muka sambungan. Portal pracetak yang disusun dari elemen-elemen dengan sambungan-sambungan daktail dapat dirancang untuk mengembangkan leleh di lokasi yang tidak bersebelahan terhadap joint. Oleh karena itu, geser desain, V_e , seperti yang dihitung sesuai dengan 7.5.4.1 atau 7.6.5.1, dapat konservatif.

Sistem portal beton pracetak yang disusun dari elemen-elemen yang dihubungkan menggunakan sambungan kuat adalah dimaksudkan mengalami leleh lentur di luar sambungan. Sambungan kuat mencakup panjang dari perangkat coupler seperti diperlihatkan dalam Gambar R7.8.3. Teknik desain-kapasitas yang digunakan dalam 7.8.3(b) untuk memastikan sambungan kuat tetap elastis pembentukan dari sendi plastis yang berikut. Persyaratan kolom tambahan diberikan untuk menghindari sendi dan penurunan kekuatan dari sambungan kolom-ke-kolom.

Pemusatan regangan yang telah diamati yang menyebabkan retak getas dari penguatan batang tulangan di muka sambungan mekanis di laboratorium uji dari sambungan kolom-balok pracetak.^{21.41} Lokasi sambungan kuat harus dipilih secara hati-hati atau ukuran lain harus diambil, misal debonding dari penguatan batang tulangan pada daerah ditegangkan tinggi, untuk menghindari pemusatan regangan yang dapat menghasilkan retak prematur tulangan.



Gambar R7.8.3 – Contoh sambungan kuat

R7.8.4 Sistem portal pracetak yang tidak memenuhi persyaratan preskriptif Bab 7 telah dibuktikan dalam penelitian eksperimental untuk memberikan karakteristik kinerja gempa yang memuaskan.^{21.42, 21.43} ACI 374.1 mendefinisikan protokol untuk menetapkan suatu prosedur desain, divalidasi oleh analisis dan uji laboratorium, untuk portal tersebut. Prosedur desain harus mengidentifikasi alur beban atau mekanisme dimana portal menahan efek gravitasi dan gempa. Pengujian harus dikonfigurasi untuk pengujian perilaku kritis, dan kuantitas pengukuran harus menetapkan nilai penerimaan upper-bound untuk komponen dari alur beban, yang mungkin dalam hal pembatasan tegangan, gaya, regangan, atau kuantitas lainnya. Prosedur desain yang digunakan untuk struktur tidak boleh menyimpang dari yang digunakan pada desain spesimen uji, dan nilai yang bisa diterima tidak boleh melebihi nilai yang dibuktikan melalui pengujian agar dapat diterima. Material dan komponen yang digunakan dalam struktur harus sama dengan yang digunakan dalam pengujian. Penyimpangan dapat diterima jika perancang bersertifikat dapat membuktikan bahwa penyimpangan tersebut tidak mempengaruhi perilaku sistem portal.

ACI ITG-1.2^{21.44} menjelaskan persyaratan desain untuk satu tipe portal momen beton pracetak khusus untuk penggunaan sesuai 7.8.4.

R7.9 Dinding struktural khusus dan balok kopel

R7.9.1 Ruang lingkup

Pasal ini berisi persyaratan untuk dimensi dan detail dari dinding struktural khusus dan balok kopel.

R7.9.2 Penulangan

Persyaratan tulangan minimum dalam 7.9.2.1 sesuai dengan peraturan sebelumnya. Persyaratan distribusi merata tulangan geser terkait dengan pengendalian lebar retak miring. Persyaratan untuk dua lapis tulangan pada dinding yang memikul geser desain penting/besar dalam 7.9.2.2 berdasarkan pengamatan bahwa, dalam kondisi konstruksi biasa, kemungkinan mempertahankan lapis tunggal tulangan dekat tengah penampang dinding adalah cukup rendah. Lebih lanjut, adanya tulangan dekat permukaan cenderung menghambat fragmentasi dari beton dalam kejadian retak parah selama gempa.

R7.9.2.3 Persyaratan didasarkan pada ketentuan Bab 12. Karena gaya aktual pada tulangan longitudinal dinding struktural dapat melebihi gaya yang dihitung, tulangan harus disalurkan atau disambung-lewatkan untuk mencapai kekuatan leleh batang tulangan dalam tarik. Persyaratan 12.11 ACI 318-08, 12.12 ACI 318-08, dan 12.13 ACI 318-08 membahas isu-isu yang berkaitan dengan balok dan tidak berlaku untuk dinding. Pada lokasi di mana leleh tulangan longitudinal diharapkan terjadi, pengali sebesar 1,25 yang digunakan untuk menghitung kemungkinan bahwa kekuatan leleh aktual melebihi kekuatan leleh yang disyaratkan dari batang tulangan, serta pengaruh pengerasan regangan dan pembalikan beban siklik. Bila tulangan transversal digunakan, panjang penyaluran untuk batang tulangan lurus dan kait dapat direduksi seperti diperkenankan dalam 12.2 ACI 318-08 dan 12.5 ACI 318-08, karena tulangan transversal yang berjarak lebih dekat memperbaiki kinerja sambungan dan kait memikul kebutuhan inelastis berulang.

R7.9.3 Gaya desain

Geser desain untuk dinding struktural yang diperoleh dari analisis beban lateral dengan faktor beban yang sesuai. Namun, kemungkinan leleh pada komponen struktur tersebut harus diperhitungkan, sebagai bagian dari suatu dinding antara dua bukaan jendela, dalam hal ini geser aktual dapat melebihi geser yang ditunjukkan oleh analisis beban lateral didasarkan pada gaya desain terfaktor.

R7.9.4 Kekuatan Geser

Persamaan (35) mengakui kekuatan geser tertinggi dinding dengan rasio momen-terhadap-geser tinggi.^{21.14, 21.34, 21.46} Kekuatan geser nominal yang diberikan pada istilah luas neto dari penampang penahan geser. Untuk suatu penampang persegi tanpa bukaan, istilah A_{cv} mengacu pada luas bruto dari penampang silang/cross daripada produk lebar dan kedalaman efektif. Definisi A_{cv} pada Persamaan (35) memfasilitasi perhitungan desain untuk dinding-dinding dengan tulangan didistribusikan secara merata dan dinding-dinding dengan bukaan-bukaan.

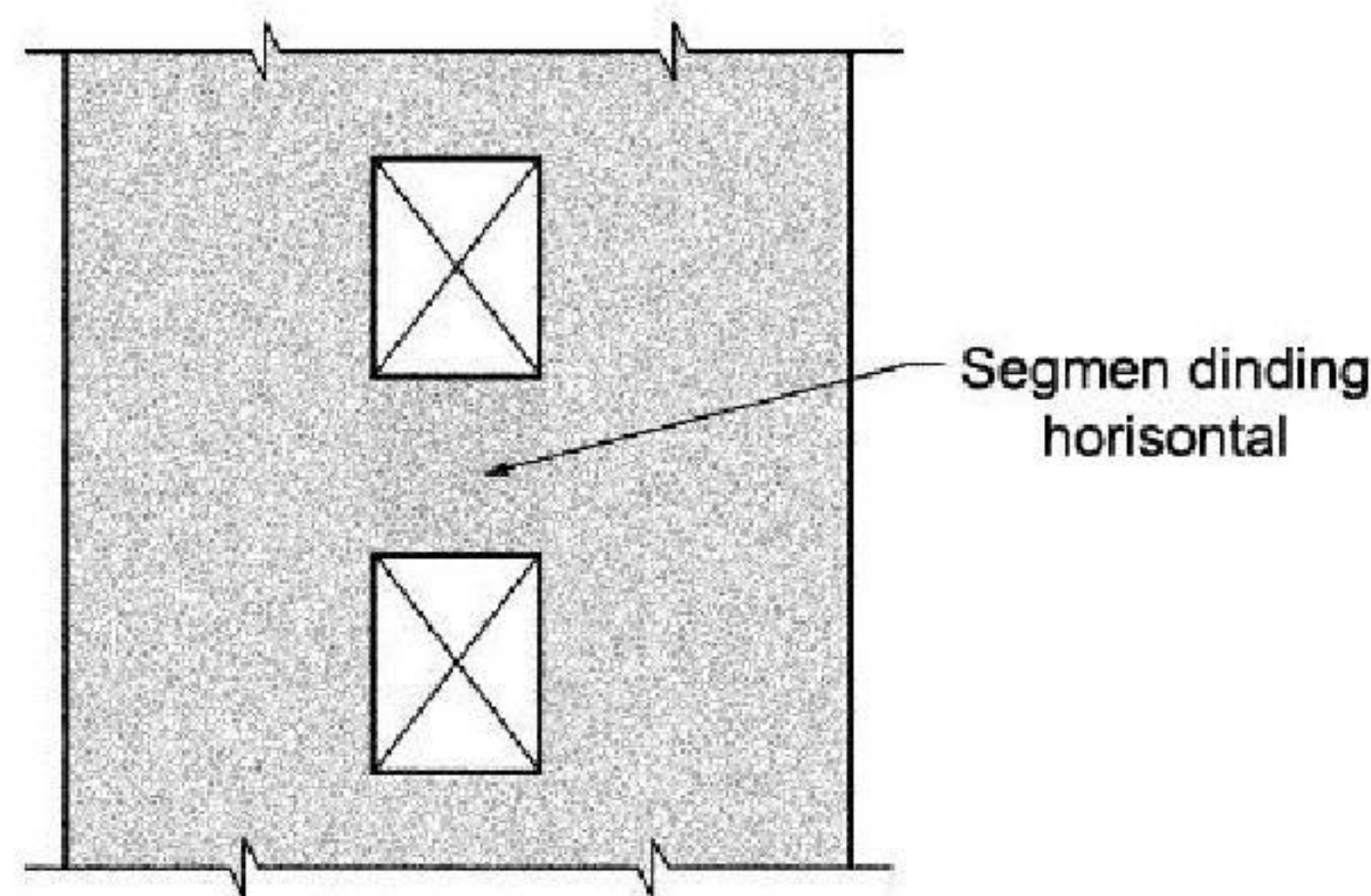
Suatu segment dinding yang mengacu pada suatu bagian dari suatu dinding yang dibatasi dengan bukaan-bukaan atau dengan suatu bukaan dan suatu tepi. Tradisional, suatu segment dinding vertikal yang dibatasi oleh bukaan dua jendela telah disebut sebagai suatu pilar. Ketika merancang suatu dinding terisolasi atau suatu segmen dinding vertikal, ρ_t mengacu pada penulangan horisontal dan ρ_ℓ yang mengacu pada penulangan vertikal.

Rasio h_w/ℓ_w boleh mengacu pada dimensi keseluruhan dari suatu dinding, atau dari suatu segmen dari dinding yang dibatasi oleh dua bukaan, atau satu bukaan dan satu tepi. Maksud dari 7.9.4.2 adalah untuk memastikan bahwa setiap segmen dari suatu dinding tidak diberi suatu kekuatan satuan yang lebih besar dari yang untuk keseluruhan dinding. Namun, suatu segmen dinding dengan suatu rasio h_w/ℓ_w yang lebih tinggi dari yang dari keseluruhan dinding harus diproporsikan untuk kekuatan satuan terkait dengan rasio h_w/ℓ_w didasarkan pada dimensi untuk segmen itu.

Untuk menahan retak yang cenderung efektif, termasuk tulangan pada ρ_t dan ρ_ℓ harus tepat didistribusikan sepanjang panjang dan tinggi dinding (lihat 7.9.4.3). Tulangan chord yang disediakan dekat tepi-tepi dinding pada jumlah terpusat untuk momen lentur penahan tidak termasuk dalam penentuan ρ_t dan ρ_ℓ . Dalam batas-batas praktis, distribusi tulangan geser harus merata dan pada jarak kecil.

Jika gaya geser terfaktor pada tingkat tertentu di suatu struktur ditahan oleh beberapa dinding atau beberapa pilar dinding berlubang, kekuatan geser satuan rata-rata yang diasumsikan untuk luas total penampang tersedia dibatasi sampai $0,66\sqrt{f'_c}$ dengan tulangan tambahan yang kekuatan geser satuan tersebut difungsikan pada setiap pilar tunggal tidak boleh melebihi $0,83\sqrt{f'_c}$. Batas tertinggi dari kekuatan yang difungsikan pada setiap satu komponen struktur yang ditugaskan untuk membatasi derajat redistribusi gaya geser.

"Segmen dinding horisontal" dalam 7.9.4.5 mengacu pada penampang dinding antara dua bukaan yang diluruskan secara vertikal (lihat Gambar R7.9.4.5). itu, berlaku, pilar yang dirotasi sampai 90 derajat. Suatu segmen dinding horisontal yang juga disebut sebagai suatu balok kopel bila bukaan-bukaan diluruskan secara vertikal sepanjang tinggi bangunan gedung. Saat merancang segmen dinding horisontal atau balok kopel, ρ_t dimaksudkan untuk tulangan vertikal dan ρ_ℓ dimaksudkan untuk tulangan horisontal.



Gambar R7.9.4.5 – Dinding dengan bukaan

R7.9.5 Desain untuk beban lentur dan aksial

R7.9.5.1 Kekuatan lentur suatu dinding atau segmen dinding ditentukan sesuai dengan prosedur yang umumnya digunakan untuk kolom. Kekuatan harus ditentukan dengan mempertimbangkan gaya-gaya aksial dan lateral yang berlaku. Tulangan yang dipusatkan dalam elemen-elemen pembatas dan disebarkan dalam sayap dan badan harus disertakan dalam perhitungan kekuatan berdasarkan analisis kompatibilitas regangan. Fondasi yang mendukung dinding harus dirancang untuk mengembangkan gaya-gaya pada pembatas dinding dan badan. Untuk kolom dengan bukaan, pengaruh dari bukaan terhadap kekuatan lentur dan geser harus dipertimbangkan dan alur beban sekitar bukaan harus diperiksa. Konsep desain kapasitas dan model “*strut-and-tie*” dapat digunakan untuk tujuan ini. ^{21.47}

R7.9.5.2 Bila penampang dinding berpotongan dalam membentuk penampang L, T, C dan bentuk lainnya, pengaruh sayap terhadap perilaku dinding harus dipertimbangkan dengan memilih lebar sayap yang sesuai. Pengujian ^{21.48} menunjukkan bahwa lebar sayap efektif meningkat dengan penambahan level simpangan dan keefektifan sayap dalam tekan berbeda daripada keefektifan sayap dalam tarik. Nilai yang digunakan untuk lebar sayap tekan efektif yang memiliki pengaruh kecil terhadap kapasitas kekuatan dan deformasi dinding; karena itu, untuk menyederhanakan desain digunakan nilai tunggal lebar sayap efektif dibesarkan perkiraan lebar sayap tarik efektif baik dalam tarik maupun tekan.

R7.9.6 Elemen pembatas dari dinding struktural khusus

R7.9.6.1 Dua pendekatan desain untuk mengevaluasi persyaratan pendetailan pada pembatas dinding disertakan dalam 7.9.6.1. pasal 7.9.6.2 memperkenankan penggunaan desain berdasarkan perpindahan dari dinding, dalam mana detail struktural ditentukan secara langsung berdasarkan perpindahan lateral dinding yang diharapkan. Ketentuan 7.9.6.3 serupa dengan yang ada dalam peraturan tahun 1995, dan tetap dipertahankan karena konservatif dalam memperkirakan tulangan transversal yang diperlukan pada pembatas kebanyakan dinding. Persyaratan 7.9.6.4 dan 7.9.6.5 berlaku untuk dinding struktural yang dirancang dengan 7.9.6.2 atau 7.9.6.3.

R7.9.6.2 Pasal 7.9.6.2 yang didasarkan pada asumsi bahwa respons inelastis dinding didominasi oleh aksi lentur pada penampang leleh kritis. Dinding harus diproporsikan sehingga penampang kritis terjadi di tempat yang diinginkan.

Persamaan (36) mengikuti pendekatan berdasarkan perpindahan. ^{21.49, 21.50} Pendekatan mengasumsikan bahwa elemen pembatas khusus diperlukan untuk mengekang beton dimana regangan serat tekan terluar dinding melebihi nilai kritis bila dinding diberikan

perpindahan sampai perpindahan desain. Dimensi horisontal elemen pembatas khusus dimasukkan untuk meneruskan setidaknya di sepanjang di mana regangan tekan melampaui nilai kritis. Tinggi elemen pembatas khusus berdasarkan estimasi batas atas panjang sendi plastis dan diteruskan melampaui zona dimana pelotokan beton cenderung terjadi. Batas terendah sebesar 0,007 untuk kuantitas δ_u / h_w menyaratkan kapasitas deformasi dinding yang sedang untuk bangunan gedung kaku.

Kedalaman sumbu netral c dalam Persamaan (36) merupakan kedalaman yang dihitung sesuai 10.2 ACI 318-08, kecuali persyaratan regangan nonlinear 10.2.2 tidak perlu berlaku, berkaitan dengan pengembangan kekuatan lentur nominal dinding bila diberi perpindahan dalam arah yang sama dengan δ_u . Beban aksial adalah beban aksial terfaktor yang konsisten dengan kombinasi beban desain yang ditimbulkan oleh perpindahan desain δ_u .

R7.9.6.3 Melalui prosedur ini, dinding dipertimbangkan pekerja akibat penurunan gravitasi dan geser dan momen maksimum yang ditimbulkan oleh gempa pada arah tertentu. Di bawah beban ini, pembatas yang tertekan pada penampang kritis menahan beban gravitasi tributari ditambah resultan tekan yang berkaitan dengan momen lentur.

Mengingat bahwa kondisi beban ini dapat berulang beberapa kali selama gerakan kuat, beton harus dikekang di mana tegangan tekan yang dihitung melebihi nilai kritis nominal sama dengan $0,2 f'_c$. Tegangan harus dihitung untuk gaya-gaya terfaktor pada penampang yang diasumsikan sebagai responsi linear penampang beton bruto. Tegangan tekan sebesar $0,2 f'_c$ digunakan sebagai nilai indeks yang tidak perlu menyatakan keadaan aktual tegangan yang bisa timbul pada penampang kritis akibat gaya-gaya inersia aktual untuk intensitas gempa yang diantisipasi.

R7.9.6.4 Nilai $c/2$ dalam 7.9.6.4(a) adalah untuk memberi panjang minimum elemen pembatas khusus. Bila sayap berada dalam tegangan tekan yang besar, muka kontak badan-terhadap-sayap kemungkinan akan tertegang kuat dan dapat mengalami kegagalan keruntuhan total kecuali jika tulangan elemen pembatas khusus diteruskan ke dalam badan. Persamaan (32) tidak berlaku untuk dinding.

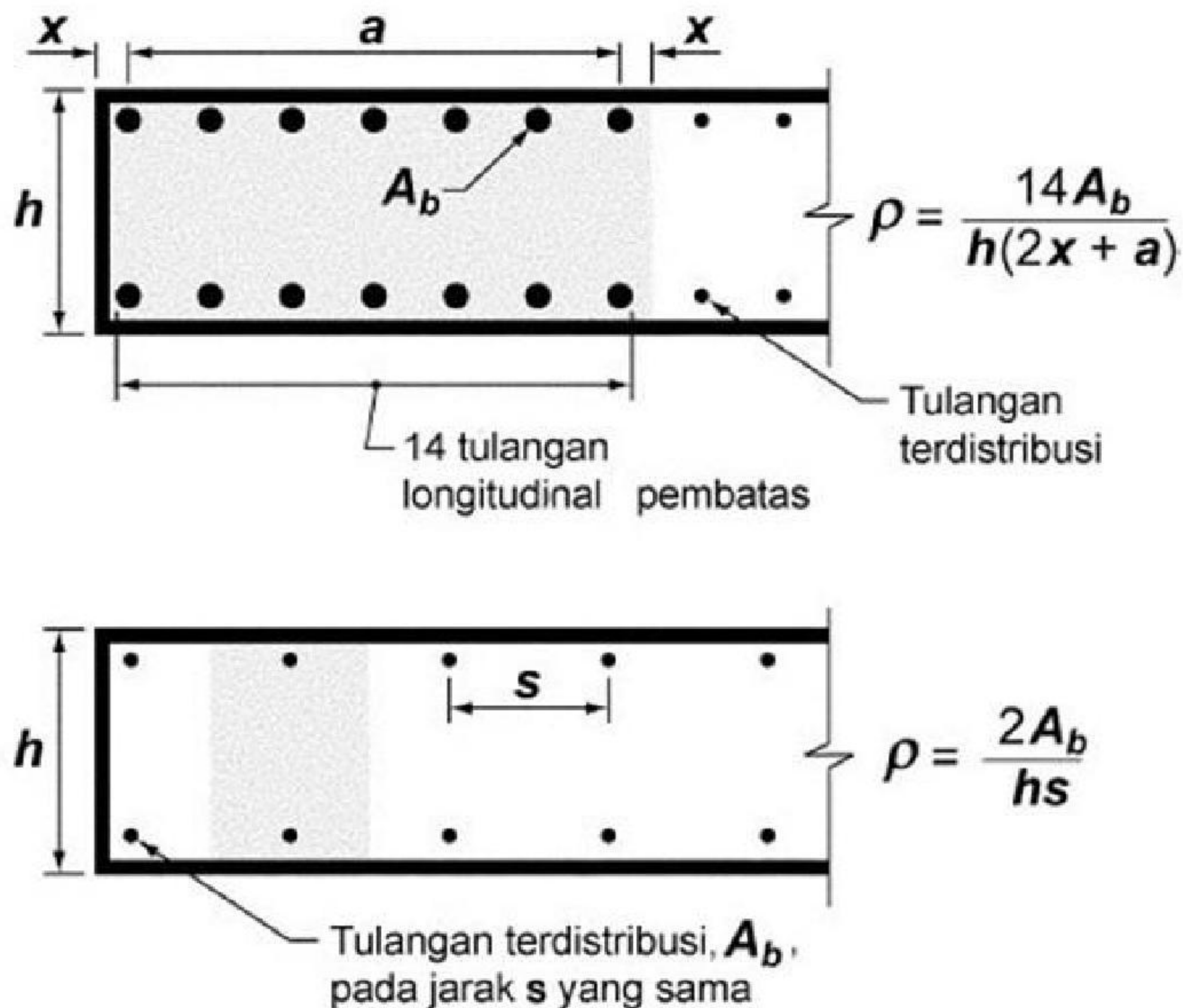
Karena tulangan horisontal kemungkinan bekerja sebagai tulangan badan dalam dinding yang memerlukan elemen pembatas, tulangan tersebut harus diangkur secara penuh pada elemen pembatas yang bekerja sebagai sayap (7.9.6.4). Pencapaian pengangkur ini sulit bila terjadi retaktransversal lebih besar dalam elemen pembatas. Oleh karena itu, skema pengangkur kait 90° standar atau mekanikal direkomendasikan dari penyaluran batang tulangan lurus.

Pengujian^{21.51} menunjukkan bahwa kinerja yang memadai dapat dicapai dengan menggunakan spasi lebih besar dari yang diijinkan oleh 7.6.4.3(a).

R7.9.6.5 Pembalikan beban siklik dapat mengakibatkan tekuk tulangan longitudinal pembatas bahkan dalam kasus-kasus di mana pembatas dinding yang diminta tidak memerlukan elemen pembatas khusus. Untuk dinding dengan jumlah moderate tulangan longitudinal pembatas, sengkang pengikat diperlukan untuk menghambat tekuk. Rasio tulangan longitudinal dimaksudkan untuk mencakup hanya tulangan pada pembatas dinding seperti diperlihatkan dalam Gambar R7.9.6.5. Suatu spasi lebih besar dari sengkang pengikat relatif dalam 7.9.6.4(c) diperbolehkan karena kebutuhan deformasi lebih rendah pada dinding-dinding.

Penambahan kait atau stirrup pada ujung-ujung dari tulangan dinding horisontal menyediakan angkur sehingga tulangan menjadi efektif dalam menahan gaya-gaya geser.

Juga akan cenderung menghambat tekuk dari tulangan tepi vertikal. Pada dinding-dinding dengan geser dalam bidang rendah, penyaluran tulangan horisontal tidak diperlukan.



Gambar 7.9.6.5 – Rasio tulangan longitudinal untuk kondisi pembatas dinding tipikal

R7.9.7 Balok kopel

Balok kopel yang menyambungkan dinding-dinding struktur dapat memberi kekakuan dan penyebaran energi. Dalam beberapa kasus, batas geometris yang dihasilkan pada balok kopel yang adalah balok tinggi sehubungan dengan bentang bersihnya. Balok kopel tinggi dapat dikontrol melalui geser dan dapat rentan terhadap penurunan kekuatan dan kekakuan akibat beban gempa. Hasil pengujian^{21.52, 21.53} menunjukkan bahwa tulangan diagonal terkekang memberi ketahanan yang cukup pada balok kopel tinggi.

Pengalaman menunjukkan bahwa tulangan diagonal hanya berorientasi efektif bila hanya jika batang tulangan ditempatkan dengan suatu inklinasi lebih besar. Oleh karena itu, balok-balok kopel yang ditulangi secara diagonal dibatasi untuk balok yang memiliki aspek rasio $\ell_n / h < 4$. Edisi 2008 peraturan ini diganti untuk memperjelas bahwa balok kopel dari rasio aspek menengah dapat ditulangi sesuai dengan 7.5.2 sampai 7.5.4.

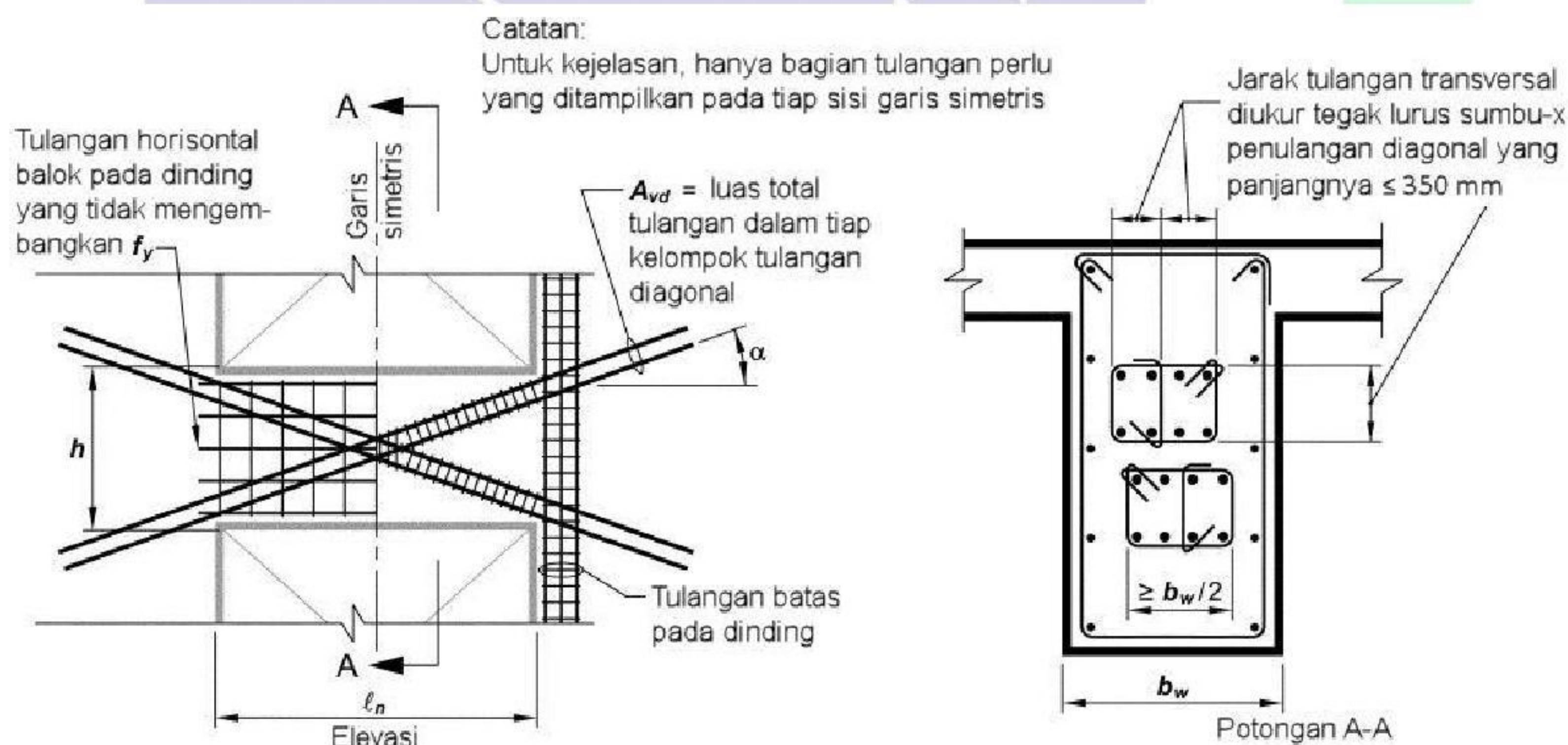
Batang tulangan diagonal harus ditempatkan kira-kira simetris pada penampang balok, dalam dua lapis atau lebih. Batang-batang tulangan yang ditempatkan diagonal adalah dimaksudkan untuk memberi kekuatan geser keseluruhan dan kekuatan momen yang sesuai dari balok; desain yang berasal kekuatan momennya dari kombinasi batang tulangan diagonal dan longitudinal tidak termasuk ketentuan ini.

Pilihan dua pengekan dijelaskan. Sesuai dengan 7.9.7.4(c), setiap elemen diagonal terdiri dari suatu sangkar dari tulangan longitudinal dan transversal seperti ditunjukkan pada Gambar R7.9.7(a). setiap sangkar bersedikitnya empat batang tulangan diagonal dan mengekan suatu inti beton. Persyaratan di sisi dimensi sangkar dan intinya yang memberi keteguhan dan stabilitas pada penampang bila batang tulangan dibebani di luar leleh. Dimensi minimum dan jarak tulangan yang diperlukan dapat mengontrol lebar dinding. Revisi yang dibuat dalam peraturan 2008 untuk mengurangi spasi tulangan transversal yang mengekan batang tulangan diagonal, untuk memperjelas bahwa pengekan yang diperlukan pada titik diagonal, dan untuk menyederhanakan desain tulangan longitudinal dan transversal sekeliling perimeter balok; balok-balok dengan detail yang baru ini diharapkan melakukan yang dapat diterima.

Pasal 7.9.7.4(d) menjelaskan suatu pilihan kedua untuk pengekan diagonal diperkenalkan pada standar 2008 (Gambar R7.9.7(b)). Pilihan kedua ini adalah untuk mengekan penampang balok keseluruhan dari pada mengekan masing-masing diagonal. Pilihan ini dapat sangat mempermudah penempatan hoop, dimana tulangan diagonal berpotongan satu sama lain atau masuk pembatas dinding.

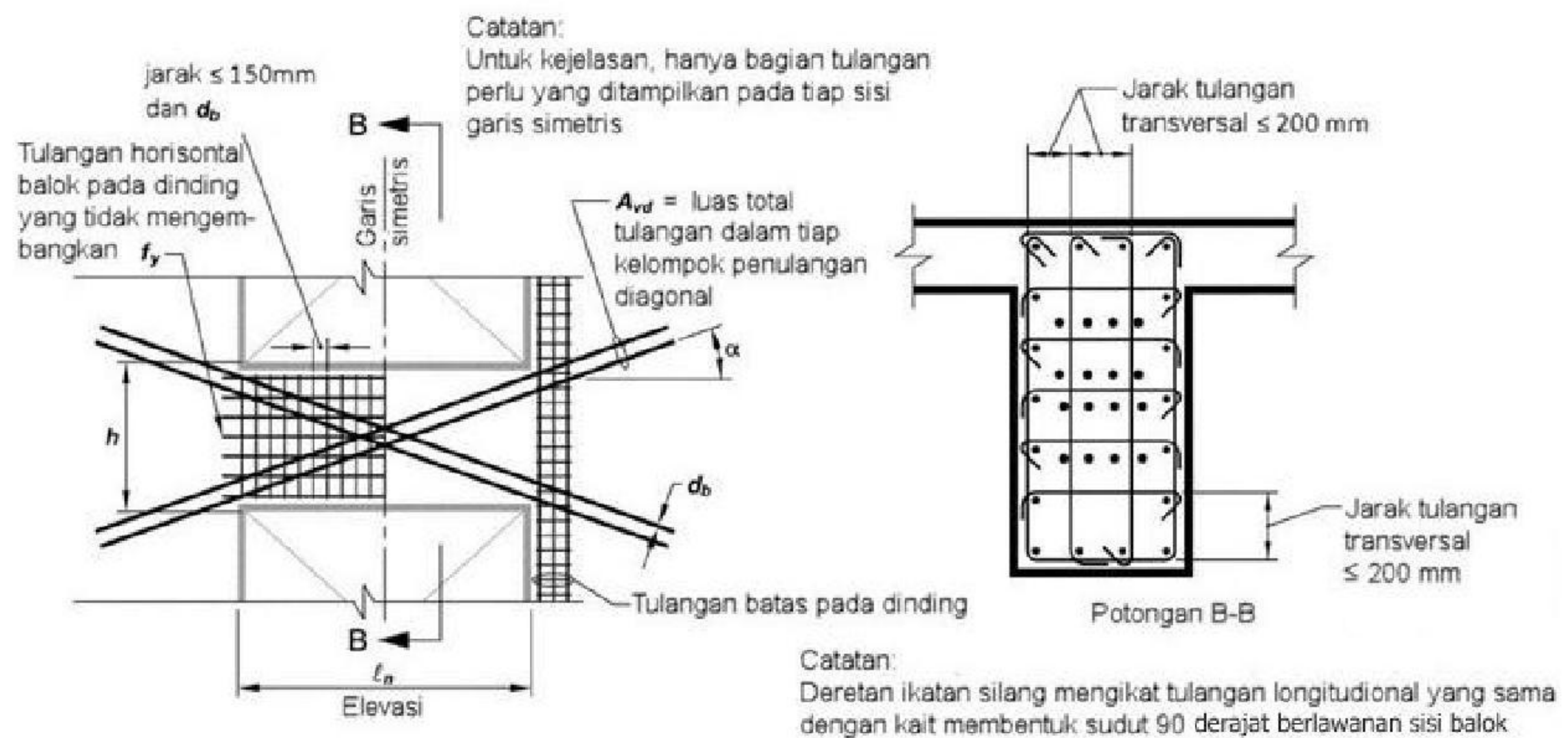
Bila balok kopel tidak digunakan sebagai bagian dari sistem penahan gaya lateral, persyaratan untuk tulangan diagonal boleh diabaikan.

Hasil pengujian^{21.53} membuktikan bahwa balok yang ditulangi seperti dijelaskan dalam Pasal 7.9.7 memiliki cukup daktilitas pada gaya geser yang melebihi $0,83\sqrt{f'_c}b_wd$. Oleh karena itu, penggunaan suatu batas $0,83\sqrt{f'_c}A_{cw}$ memberi suatu batas atas yang bisa diterima.



(a) Pengekan diagonal individu

Catatan: Untuk kejelasan tampilan ketinggian, hanya sebagian dari tulangan total yang diperlukan ditampilkan pada tiap sisi garis simetris.



(b) Pengekangan penuh dari penampang balok beton bertulangan diagonal

Gambar R7.9.7 – Balok kopel dengan tulangan berorientasi diagonal. Tulangan batas dinding hanya ditunjukkan pada satu sisi untuk kejelasan

R7.10 Dinding-dinding struktural khusus yang dibangun menggunakan beton pracetak

R7.10.3 Studi eksperimental dan studi analisis^{21.54-21.56} memiliki bukti bahwa beberapa tipe dari pasca-tarik dinding-dinding struktural pracetak dengan tendon tanpa lekatan, dan yang tidak memenuhi persyaratan yang ditunjuk Bab 7, memberi karakteristik kinerja gempa yang memuaskan. ACI ITG-5.1 menjelaskan suatu peraturan resmi untuk menetapkan prosedur desain, dibenarkan melalui analisis dan uji laboratorium, untuk seperti dinding, dengan atau tanpa balok kopel.

R7.11 Diafragma dan rangka batang struktural

R7.11.1 Ruang lingkup

Diafragma seperti digunakan dalam konstruksi bangunan gedung adalah elemen struktural (misal sebagai lantai atau atap) yang memberi beberapa atau semua fungsi yang berikut:

- Pendukung untuk elemen bangunan gedung (misal dinding, partisi, dan kulit bangunan gedung) penahan gaya-gaya horizontal tetapi tidak bekerja sebagai bagian sistem penahan gaya gempa;
- Penyalur gaya lateral dari titik aplikasi ke elemen vertikal sistem penahan gaya gempa;
- Sambungan berbagai macam komponen sistem penahan gaya gempa vertikal dengan kekuatan, kekakuan, dan kekerasan yang sesuai sehingga respon bangunan gedung seperti dikehendaki dalam desain.^{21.57}

R7.11.2 Gaya-gaya desain

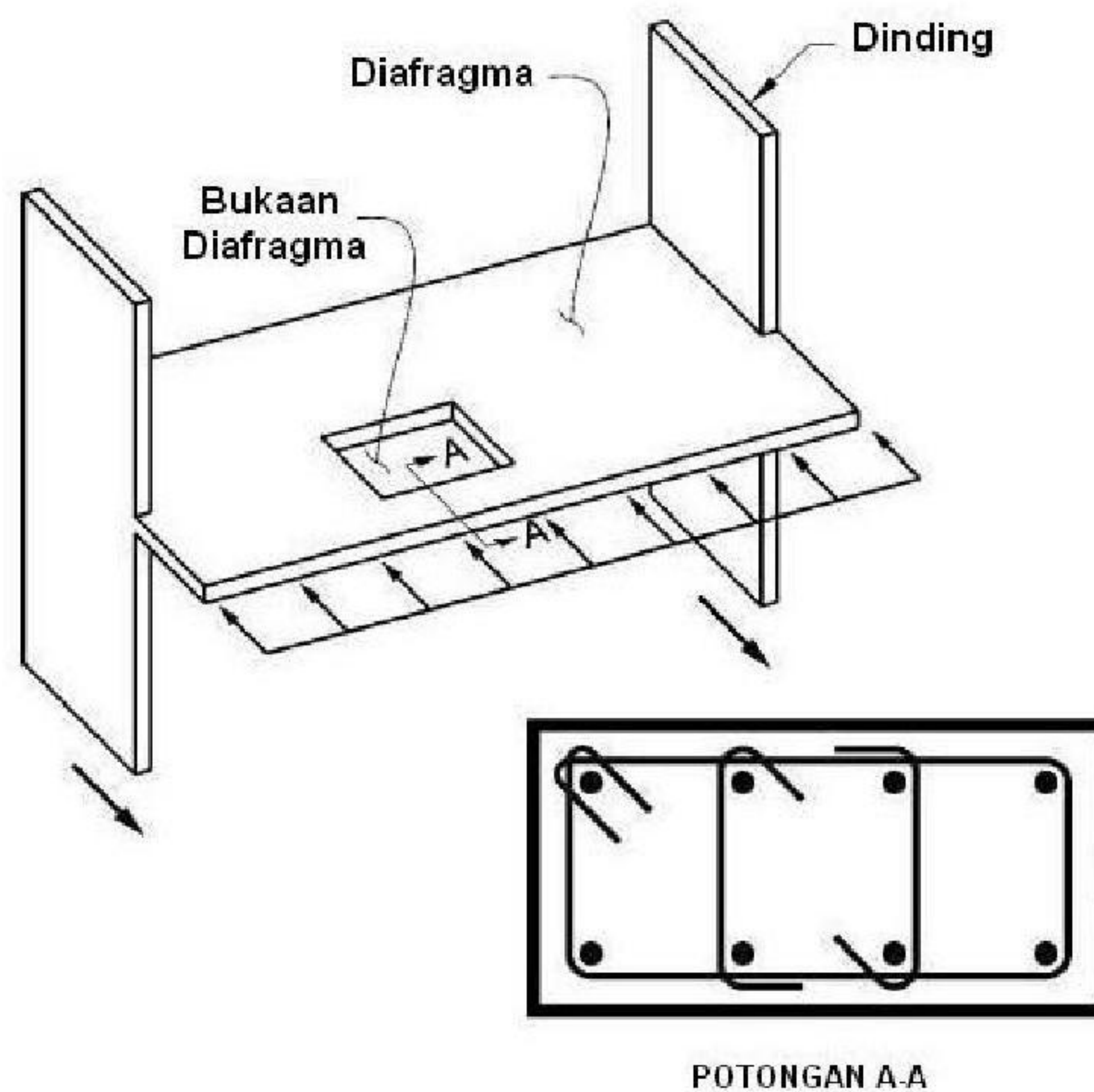
Pada peraturan bangunan gedung umum, gaya-gaya desain gempa untuk diafragma lantai dan atap tipikal yang tidak dihitung secara langsung sewaktu analisis gaya lateral yang memberi gaya-gaya tingkat dan geser-geser tingkat. Sebagai pengganti, gaya-gaya desain diafragma di setiap level yang dihitung dengan suatu formula yang amplifikasi gaya-gaya tingkat tersebut efek dinamik yang diakui dan mencakup batas minimum dan maksimum. Gaya-gaya ini digunakan dengan kombinasi beban yang ditetapkan pada desain diafragma untuk geser dan momen.

Untuk elemen-elemen kolektor, peraturan bangunan gedung umum dalam penggunaannya di Amerika Serikat tersebut mensyaratkan kombinasi-kombinasi beban yang memperbesar gaya gempa melalui suatu faktor Ω_o . Gaya-gaya yang diperbesar oleh Ω_o juga digunakan untuk gaya geser diafragma lokal yang dihasilkan dari penyaluran gaya-gaya kolektor, dan untuk momen lentur diafragma lokal dihasilkan dari setiap eksentrisitas dari gaya-gaya kolektor. Persyaratan spesifik untuk gaya-gaya desain gempa untuk diafragma dan kolektor tergantung pada daerah di mana peraturan bangunan gedung umum digunakan. Persyaratan-persyaratan tersebut juga dapat bervariasi sesuai dengan KDG.

Untuk kebanyakan bangunan gedung beton yang menahan gempa inelastis yang dibutuhkan, hal yang menguntungkan untuk membatasi perilaku inelastis dari diafragma lantai dan atap akibat gaya-gaya gempa dan deformasi yang dibebankan. Hal yang lebih disukai untuk perilaku inelastis yang hanya terjadi dalam lokasi yang dimaksud tersebut dari sistem penahan gaya gempa bahwa didetail untuk respon daktail, misalnya pada sendi plastis balok portal momen khusus, atau pada sendi plastis lentur di dasar dinding-dinding struktural atau pada balok-balok kopel. Untuk bangunan gedung tanpa bentang diafragma panjang antara elemen-elemen penahan gaya lateral, perilaku diafragma tipikal tidak sulit untuk dicapai. Untuk bangunan-bangunan gedung di mana diafragma-diafragma dapat mencapai kekuatan lentur atau gesernya sebelum terjadi leleh dalam sistem gempa vertikal, maka perancang harus meningkatkan kekuatan diafragma.

R7.11.3 Alur beban gempa

R7.11.3.2 Pasal 7.11.3.2 berlaku untuk elemen strut-like yang sering hadir sekitar bukaan, tepi diafragma, atau diskontinu lainnya pada diafragma. Gambar R7.11.3.2 memperlihatkan sebuah contoh. Elemen-elemen tersebut dapat menahan gaya-gaya aksial gempa dalam kombinasi dengan lentur dan geser dari beban gempa atau beban gravitasi.



Gambar R7.11.3.2 – Contoh dari diafragma yang memenuhi persyaratan 7.11.3.2 dan menunjukkan suatu elemen yang memiliki pengekan seperti disyaratkan oleh 7.11.7.5

R7.11.4 Diafragma pelat topping-komposit cor di tempat

Pelat topping yang dilekatkan yang diperlukan sehingga sistem lantai atau atap dapat memberi kekangan menahan tekuk pelat. Tulangan yang diperlukan untuk memastikan kontinuitas penyaluran geser melalui joint pracetak. Persyaratan sambungan diperkenalkan untuk memperhatikan sistem yang lengkap dengan penyalur geser yang diperlukan.

R7.11.5 Diafragma pelat topping cor di tempat

Aksi komposit antara pelat topping dan elemen-elemen lantai pracetak tidak diperlukan, asalkan bahwa pelat topping dirancang untuk menahan gaya-gaya gempa desain.

R7.11.6 Ketebalan diafragma minimum

Ketebalan diafragma beton minimum mencerminkan praktek saat ini di sistem joist (pelat berusuk) dan *waffle* dan pelat topping komposit pada sistem lantai pracetak dan atap. Pelat penebal yang diperlukan ketika pelat topping tidak bekerja secara komposit dengan sistem pracetak untuk menahan gaya-gaya gempa desain.

R7.11.7 Tulangan

R7.11.7.1 Rasio tulangan minimum untuk diafragma yang sesuai dengan jumlah tulangan temperatur dan susut yang diperlukan (7.12 ACI 318-08). Spasi maksimum untuk tulangan badan adalah dimaksudkan untuk mengontrol lebar retak miring. Persyaratan prategang rata-rata minimum (7.12.3 ACI 318-08) dianggap memadai untuk membatasi lebar retak

pada sistem lantai pasca-tarik; oleh karena itu, persyaratan spasi maksimum tidak boleh digunakan pada sistem ini.

Persyaratan spasi minimum untuk tulangan kawat dilas dalam pelat topping pada sistem lantai pracetak (lihat 7.11.7.1) adalah untuk menghindari tulangan terdistribusi patah saat terjadi gempa. Retak-retak pada pelat topping terbuka tepat di atas pembatas antara sayap-sayap dari komponen struktur pracetak yang berdekatan, dan kawat-kawat yang bersilangan yang retak adalah tertahan oleh kawat-kawat transversal.^{21.58} Oleh karena itu, semua deformasi yang terkait dengan keretakan harus diakomodasi pada suatu jarak yang tidak lebih besar dari spasi dari kawat-kawat transversal. Suatu spasi minimum 250 mm untuk kawat-kawat transversal yang disyaratkan dalam 7.11.7.1 untuk mereduksi kemungkinan fraktur dari kawat-kawat yang bersilangan retak kritis selama gempa desain. Persyaratan spasi minimum tidak boleh digunakan untuk diafragma yang ditulangi dengan batang tulangan individual, karena regangan-regangan didistribusikan di sepanjang suatu panjang terbesar.

R7.11.7.3 Penyaluran batang tulangan dan sambungan lewatan yang dirancang sesuai dengan persyaratan Bab 12 ACI 318-08 untuk tulangan dalam tarik. Reduksi dalam panjang penyaluran atau panjang sambungan/splice untuk tegangan-tegangan yang dihitung kurang dari f_y tidak diijinkan, seperti tertera dalam 12.2.5 ACI 318-08.

R7.11.7.5 Dalam dokumen-dokumen, misalnya ketentuan-ketentuan NEHRP,^{21.4} ASCE/SEI 7,^{21.1} International Building Code (IBC),^{21.2} dan the Uniform Building Code,^{21.3} elemen-elemen kolektor diafragma yang dirancang untuk gaya-gaya teramplifikasi oleh suatu faktor, Ω_o , untuk menghitung kekuatan-lebih pada elemen vertikal dari sistem penahan gaya gempa. Faktor amplifikasi Ω_o rentang antara 2 dan 3 untuk umumnya struktur beton, tergantung pada dokumen yang dipilih dan pada tipe dari sistem gempa. Dalam beberapa dokumen, faktor tersebut dapat dihitung berdasarkan pada gaya-gaya maksimum yang dapat disalurkan melalui elemen-elemen dari sistem penahan gaya gempa vertikal.

Tegangan tekan yang dihitung untuk gaya-gaya terfaktor pada suatu model elastis linear yang berdasarkan pada penampang bruto dari diafragma struktural yang digunakan sebagai suatu nilai indeks untuk menentukan apakah tulangan yang mengekang diperlukan. Suatu tegangan tekan yang dihitung $0,2f'_c$ pada suatu komponen struktur, atau $0,5f'_c$ untuk gaya-gaya teramplifikasi oleh Ω_o , yang diasumsikan untuk menunjukkan integritas dari keseluruhan struktur tergantung pada kemampuan dari komponen struktur untuk menahan gaya tekan substansial akibat beban siklik kuat. Oleh karena itu, tulangan transversal yang diperlukan pada komponen struktur tersebut untuk memberi pengekangan untuk beton dan tulangan.

R7.11.7.6 Pasal 7.11.7.6 dimaksudkan untuk mereduksi kemungkinan tekuk batang tulangan dan menyediakan kondisi penyaluran batang tulangan yang memadai di sekitar zona sambungan/splice dan zona angkur.

R7.11.8 Kekuatan lentur

Kekuatan lentur untuk diafragma yang dihitung menggunakan asumsi yang sama sebagai untuk dinding, kolom, atau balok. Perancangan diafragma untuk lentur dan aksi-aksi lainnya yang menggunakan kombinasi beban yang berlaku 9.2 ACI 318-08 yang memperhitungkan gaya-gaya gempa yang bekerja bersamaan dengan beban gravitasi atau beban lainnya.

Pengaruh bukaan pelat pada kekuatan lentur dan geser harus dipertimbangkan, termasuk mengevaluasi penampang kritis potensial akibat bukaan-bukaan. Model sengkang pengikat-

dan-batang penarik berpotensi berguna untuk merancang diafragma dengan bukaan-bukaan.

Praktek desain sebelumnya yang mengasumsikan momen desain untuk diafragma struktural ditahan sepenuhnya oleh gaya-gaya chord yang bekerja di tepi-tepi berlawanan dari diafragma. Idealisasi ini tersirat dalam versi sebelumnya dari peraturan, tetapi telah diganti melalui pendekatan dimana semua tulangan longitudinal, dalam batas 7.11.7, yang diasumsikan berkontribusi pada kekuatan lentur diafragma. Perubahan ini mengurangi luas tulangan longitudinal terpusat dekat tepi diafragma, tetapi tidak boleh diinterpretasikan sebagai suatu persyaratan untuk menghilangkan semua tulangan pembatas.

R7.11.9 Kekuatan geser

Persyaratan kekuatan geser untuk diafragma adalah sama dengan untuk dinding-dinding struktural langsing dan didasarkan pada ketentuan geser untuk balok. Istilah A_{cv} mengacu pada luas bruto diafragma, tetapi tidak boleh melebihi ketebalan dikalikan lebar diafragma. Ini sesuai dengan luas bruto balok tinggi efektif yang membentuk diafragma. Tulangan pelat terdistribusi, ρ_t , yang digunakan untuk menghitung kekuatan geser suatu diafragma pada Persamaan (38) adalah diposisikan tegak lurus terhadap diafragma tulangan lentur. Pasal 7.11.9.2 membatasi kekuatan geser maksimum diafragma.

Selain memenuhi ketentuan dalam 7.11.9.1 dan 7.11.9.2, diafragma pelat topping cor di tempat juga harus memenuhi 7.11.9.3 dan 7.11.9.4. Pelat topping cor di tempat di atas suatu sistem lantai pracetak atau atap pracetak cenderung memiliki retak susut yang segaris dengan joint antara komponen-komponen struktur pracetak yang berdekatan. Oleh karena itu, persyaratan kekuatan geser tambahan untuk diafragma pelat topping dalam 7.11.9.3 adalah didasarkan pada suatu model friksi geser,^{21,58} dan bidang retak diasumsikan pada joint dalam sistem pracetak tersebut sepanjang arah geser yang diterapkan, seperti ditunjukkan dalam Gambar R11.6.4 ACI 318-08. Koefisien friksi, μ , pada model friksi geser yang diambil sama dengan 1,0 untuk beton berat normal akibat adanya retak susut ini.

Keduanya didistribusikan dan tulangan pembatas pada pelat topping dapat diperhitungkan sebagai tulangan friksi geser, A_{vf} . Tulangan pembatas di dalam diafragma yang disebut tulangan chord dalam ACI 318 sebelum 2008. Walaupun tulangan pembatas juga menahan gaya lentur pada diafragma, reduksi dalam ketahanan friksi geser pada zona tarik diimbangi oleh peningkatan dalam ketahanan friksi geser pada zona tekan. Oleh karena itu, luas tulangan pembatas yang digunakan untuk menahan friksi geser tidak perlu ditambahkan ke luas tulangan pembatas yang digunakan untuk menahan gaya-gaya lentur. Tulangan pelat topping terdistribusi tersebut harus memberikan sedikitnya setengah dari kekuatan geser nominalnya. Hal ini diasumsikan sehingga sambungan-sambungan antara elemen-elemen pracetak tidak berkontribusi terhadap kekuatan geser diafragma pelat topping.

Pasal 7.11.9.4 Membatasi geser maksimum sehingga dapat disalurkan melalui friksi geser di dalam diafragma pelat topping.

R7.12 Fondasi

R7.12.1 Ruang lingkup

Persyaratan untuk fondasi yang mendukung bangunan gedung yang ditetapkan untuk KDG D, E, atau F adalah ditambahkan dalam peraturan 1999. Peraturan ini mewakili suatu konsensus tingkat minimum dari praktek yang baik dalam perancangan dan pedetailan fondasi beton yang mencakup tiang pancang, drilled pier, dan kaison. Hal ini diinginkan

sehingga respon inelastis pada guncangan tanah yang kuat terjadi di atas fondasi, sebagai perbaikan untuk fondasi bisa sangat sulit dan mahal.

R7.12.2 Fondasi telapak, fondasi rakit, dan pur

R7.12.2.2 Pengujian^{21.59} membuktikan bahwa komponen struktur lentur yang terhenti di suatu fondasi telapak, pelat, atau balok (joint-T) harus memiliki kaitnya berbalik ke dalam terhadap sumbu dari komponen struktur untuk joint yang dapat menahan lentur pada komponen struktur yang membentuk batang T.

R7.12.2.3 Komponen struktur kolom atau pembatas yang didukung dekat dengan tepi fondasi, seperti yang sering terjadi di dekat jalur properti, harus didetail untuk mencegah suatu kegagalan tepi dari fondasi telapak, kepala tiang, atau fondasi rakit.

7.12.2.4 Tujuan dari 7.12.2.4 adalah untuk menekankan bahwa tulangan atas harus diberikan disertai tulangan yang diperlukan lainnya.

R7.12.2.5 Committee 318 merekomendasikan bahwa fondasi atau dinding besmen yang ditulangi pada bangunan gedung didesain terhadap KDG D, E, atau F.

R7.12.3 Balok grid dan pelat di atas tanah

Untuk kondisi gempa, pelat di atas tanah (pelat yang diletakkan pada tanah) umumnya bagian dari sistem penahan gaya lateral dan harus dirancang sesuai dengan standar ini dan juga standar atau panduan-panduan yang sesuai lainnya. Lihat 1.1.7.

R7.12.3.2 Balok grid antara kepala tiang pancang atau fondasi telapak dapat dipisahkan balok di bawah pelat di atas tanah atau bisa merupakan bagian ketebalan pelat di atas tanah. Pembatasan penampang dan persyaratan sengkang pengikat minimum memberi proporsi yang layak.

R7.12.3.3 Balok grid yang menahan tegangan-tegangan lentur gempa dari momen kolom harus memiliki detail tulangan yang sama untuk balok-balok dari portal di atas fondasi.

R7.12.3.4 Pelat di atas tanah umumnya bekerja sebagai suatu diafragma yang menahan bangunan gedung bersama-sama di level tanah dan memperkecil efek-efek gerakan tanah keluar fase yang dapat terjadi di atas tapak dari bangunan gedung. Dalam hal ini, pelat di atas tanah harus ditulangi dan didetail sehingga memenuhi syarat. Gambar desain harus jelas sehingga pelat di atas tanah yang komponen struktur pelatnya tidak boleh dipotong.

R7.12.4 Tiang pancang, tiang jembatan, dan kaison

Kinerja yang cukup dari tiang pancang dan kaison untuk beban gempa menyaratkan bahwa ketentuan ini dipenuhi selain standar atau panduan yang berlaku lainnya. Lihat R1.1.6.

R7.12.4.2 Suatu alur beban yang diperlukan di kepala tiang pancang untuk menyalurkan gaya tarik dari batang tulangan pada kolom atau komponen struktur pembatas sampai kepala tiang untuk penulangan tiang pancang atau kaison.

R7.12.4.3 Pasak yang digROUT pada suatu *blockout* pada bagian atas dari suatu tiang pancang beton pracetak perlu diperhitungkan, dan pengujian merupakan sarana praktis yang membuktikan kekuatan. Alternatif, batang tulangan dapat ditempatkan pada bagian teratas dari tiang pancang, terpapar oleh kepingan beton dan di sambungan mekanis atau dilas ke suatu perpanjangan.

R7.12.4.4 Selama gempa, tiang-tiang pancang dapat menahan kebutuhan lentur tinggi secara ekstrim di titik-titik diskontinu, terutama tepat di bawah kepala tiang dan dekat pangkal endapan tanah lunak atau gembur. Persyaratan peraturan untuk pengekan tulangan di bagian atas dari tiang pancang didasarkan pada banyaknya kegagalan yang diamati di lokasi ini dalam gempa. Tulangan transversal diperlukan pada daerah ini untuk memberi kinerja daktail. Aksi inelastis yang mungkin pada tiang pancang di perubahan mendadak dalam endapan tanah juga harus dipertimbangkan, misalnya perubahan dari lapisan tanah lunak ke keras atau lapisan tanah gembur ke lapisan tanah padat. Bila tiang-tiang pancang pracetak harus digunakan, potensi ujung tiang didorong ke suatu elevasi berbeda dari yang disyaratkan dalam gambar perlu harus diperhitungkan ketika mendetail tiang pancang. Jika tiang pancang mencapai penolakan pada kedalaman dangkal, panjang tiang pancang yang panjangnya berlebih tersebut perlu dipotong. Jika kemungkinan ini tidak diketahui lebih dahulu, panjang tulangan transversal yang diperlukan oleh 7.12.4.4 boleh tidak disediakan sesuai kelebihan panjang tiang dipotong.

R7.12.4.7 Kerusakan struktur yang luas sudah sering diamati di hubungan dari pemukulan tiang pancang dan bangunan gedung. Kepala tiang tersebut dan disekeliling struktur harus dirancang untuk gaya-gaya besar yang potensial yang dapat disalurkan pada pemukulan tiang-tiang pancang.

R7.13 Komponen struktur yang tidak dirancang sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa

Pasal ini hanya digunakan untuk struktur Kategori Desain Gempa D (KDG D), E, atau F. Model peraturan bangunan gedung, misalnya IBC 2006, menyatakan semua komponen struktur yang tidak ditunjuk sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa harus dirancang untuk menahan beban gravitasi pada saat perpindahan desain. Untuk struktur beton, ketentuan dari 7.13 memenuhi persyaratan ini untuk kolom, balok, dan pelat dari sistem gravitas. Perpindahan desain didefinisikan dalam 2.2.

Prinsip dibalik ketentuan 7.13 yang mengikuti leleh lentur dari kolom, balok, dan pelat akibat perpindahan desain, dan memberi pengekan yang cukup dan kekuatan geser pada elemen-elemen yang mengalami leleh. Melalui ketentuan 7.13.2 sampai 7.13.4, kolom dan balok diasumsikan untuk meleleh jika efek kombinasi dari beban-beban gravitas terfaktor dan perpindahan desain melebihi kekuatan yang sesuai, atau jika efek-efek perpindahan desain tidak diperhitungkan. Persyaratan untuk tulangan transversal dan kekuatan geser yang bervariasi dengan beban aksial pada komponen struktur dan apakah atau tidak komponen stuktur tersebut leleh akibat perpindahan desain.

Model-model yang digunakan untuk menentukan perpindahan desain bangunan gedung harus dipilih untuk menghasilkan hasil yang konservatif terikat nilai-nilai yang diharapkan selama gempa desain dan harus meliputi, bila sesuai, efek keretakan beton, fleksibilitas fondasi, dan deformasi diafragma lantai dan atap.

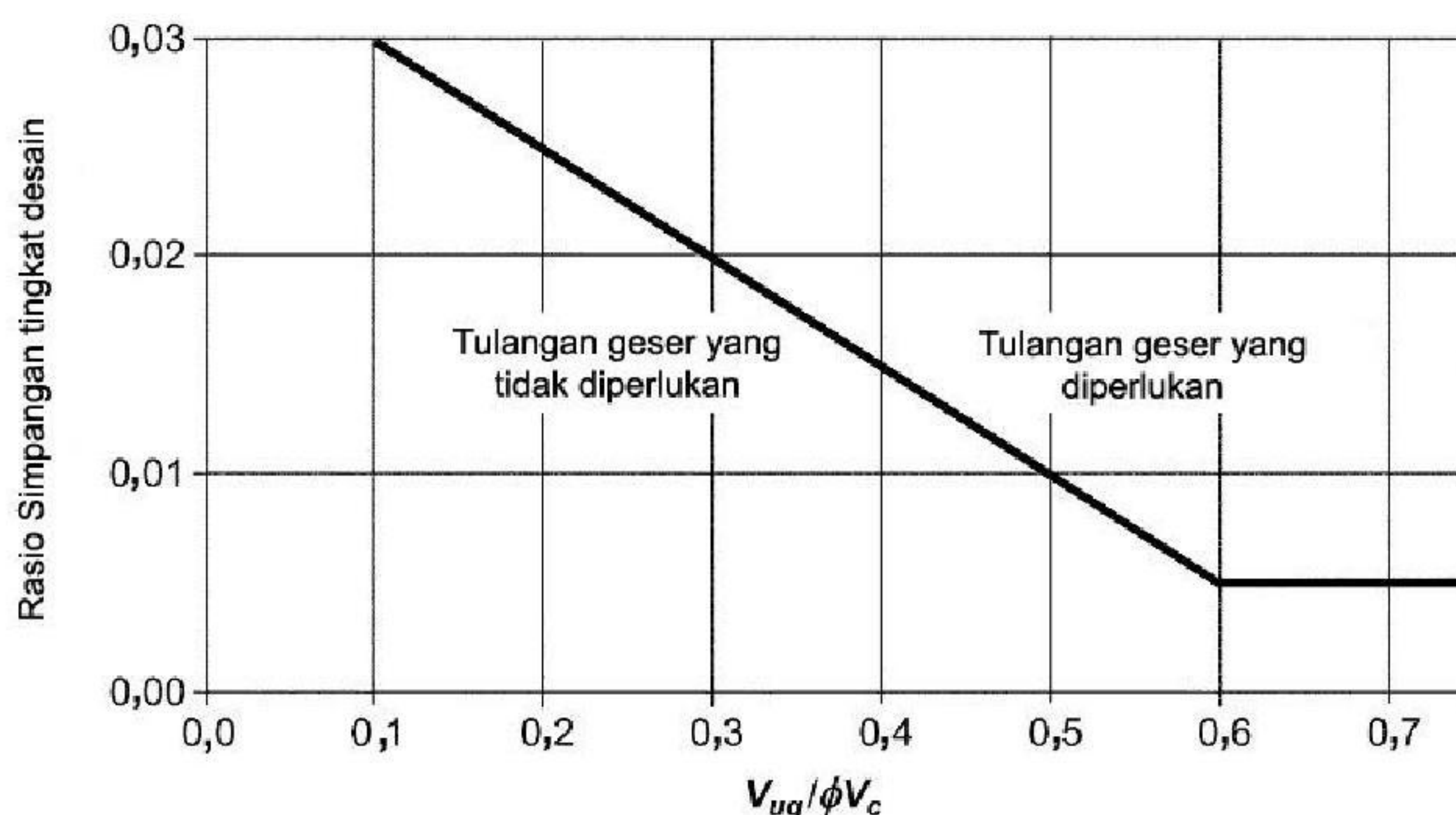
R7.13.5 Kerusakan pada beberapa bangunan gedung dengan sistem gravitas beton pracetak saat gempa Northridge 1994 yang disebabkan beberapa faktor yang disebut dalam 7.13.5. Kolom harus berisi sengkang pengikat disepanjang tinggi keseluruhannya, komponen struktur portal yang tidak diproporsikan untuk menahan gaya-gaya gempa harus diikat bersama-sama, dan panjang tumpuan yang lebih panjang harus digunakan untuk mempertahankan integritas dari sistem gravitas selama goncangan gempa. Penambahan panjang tumpuan 50 mm didasarkan pada suatu asumsi rasio simpangan tingkat 4 persen dan tinggi balok 1,3 m, dan harus diperhitungkan konservatif untuk gerakan tanah yang diharapkan pada struktur KDG D, E, atau F. Selain ketentuan 7.13.5, komponen struktur portal pracetak yang tidak diasumsikan untuk kontribusi ketahanan lateral juga harus memenuhi 7.13.2 sampai 7.13.4, yang berlaku.

7.13.6 Ketentuan untuk tulangan geser di sambungan kolom-pelat yang ditambahkan dalam tahun 2005 untuk memperkecil kemungkinan kegagalan geser punching pelat. Tulangan geser tersebut diperlukan kecuali salah satu 7.13.6(a) atau 7.13.6(b) dipenuhi.

Pasal 7.13.6(a) menyatakan perhitungan tegangan geser akibat gaya geser terfaktor dan momen induksi sesuai dengan 11.11.7.2 ACI 318-08. Momen induksi adalah momen yang dihitung terjadi pada sambungan kolom-pelat bila menahan perpindahan desain. Pasal 13.5.1.2 ACI 318-08 dan penjelasan yang disertakan memberi panduan pada pemilihan kekakuan dari sambungan kolom-pelat untuk tujuan perhitungan ini.

Pasal 7.13.6(b) tidak memerlukan perhitungan momen induksi, dan didasarkan penelitian^{21.60, 21.61} yang mengidentifikasi kemungkinan kegagalan geser punching rasio simpangan tingkat dan geser akibat beban gravitasi. Gambar R7.13.6 menunjukkan persyaratan. Persyaratan dapat dipenuhi dengan penambahan tulangan geser pelat, penambahan ketebalan pelat, perubahan desain untuk memperkecil rasio simpangan tingkat desain, atau kombinasi dari semuanya.

Jika kapital kolom, drop panel, kepala geser, atau perubahan lainnya pada ketebalan pelat digunakan, persyaratan 7.13.6 tersebut dievaluasi pada semua penampang kritis potensial, seperti disyaratkan oleh 11.11.1.2 ACI 318-08.



Gambar R7.13.6 – Ilustrasi kriteria 7.13.6(b)

R8.1 Ruang lingkup

Bab 8 berlaku umumnya untuk dinding-dinding sebagai komponen struktur pemikul beban vertikal. Dinding-dinding retaining kantilever dirancang sesuai ketentuan desain lentur Bab 10 ACI 318-08. Dinding-dinding dirancang untuk menahan gaya geser, misalnya dinding geser, harus dirancang sesuai Bab ini dan 11.9 ACI 318-08.

Dalam peraturan tahun 1977, dinding harus dirancang sesuai Bab 14 ACI 318-08 atau 10.15 ACI 318-08. Dalam peraturan 1983, dua kombinasi ini ada dalam Bab 14 ACI 318-08 (Bab 8 standar ini).

R8.2 Umum

Dinding-dinding harus dirancang untuk menahan semua beban yang dipikulkan ke dinding tersebut, termasuk beban aksial eksentris dan gaya-gaya lateral. Desain harus dilakukan sesuai 8.4 kecuali jika dinding memenuhi persyaratan 8.5.1.

R8.3 Tulangan minimum

Persyaratan 8.3 sama dengan peraturan sebelumnya. Ini berlaku untuk dinding-dinding yang dirancang sesuai 8.4, 8.5, atau 8.8. untuk dinding-dinding penahan gaya geser horisontal dalam bidang dinding, tulangan dirancang sesuai 11.9.9.2 ACI 318-08 dan 11.9.9.4 ACI 318-08 boleh melebihi tulangan minimum dalam 8.3.

Notasi digunakan untuk mengidentifikasi arah tulangan terdistribusi dalam dinding-dinding yang telah diperbaharui tahun 2005 untuk mengurangi konflik antara notasi yang digunakan dinding struktural biasa dalam Bab 11 ACI 318-08 dan Bab 8 standar ini (Bab 14 ACI 318-08) dan notasi yang digunakan untuk dinding-dinding struktural khusus dalam Bab 7. Tulangan terdistribusi yang sekarang diidentifikasi sebagai paralel berorientasi terhadap sumbu longitudinal atau transversal dari dinding. Oleh karena itu, untuk segmen dinding vertikal, notasi digunakan untuk menjelaskan rasio tulangan yang didistribusikan vertikal adalah ρ_ℓ .

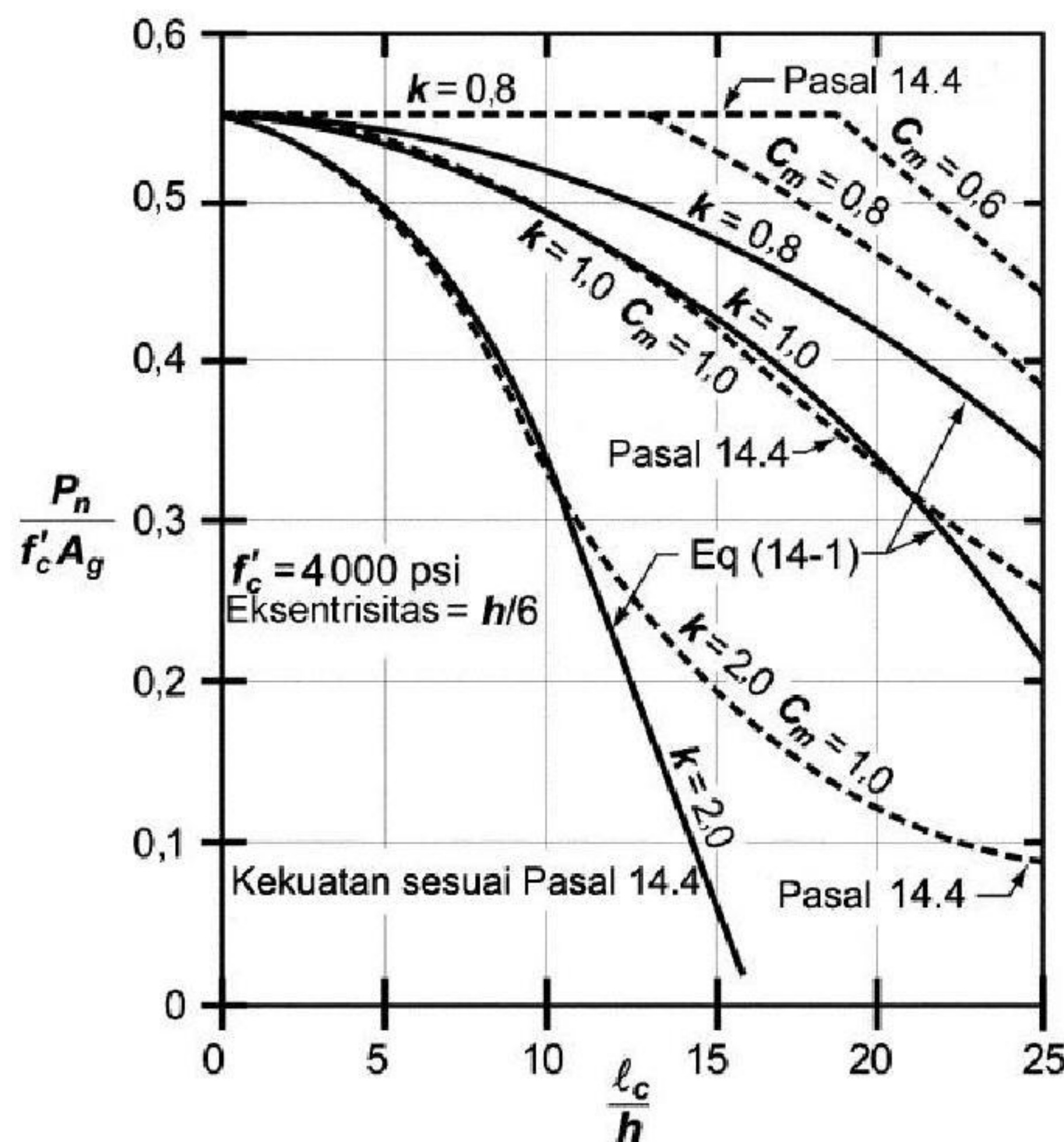
R8.5 Metode desain empiris

Metode desain empiris hanya berlaku untuk penampang persegi pejal. Semua bentuk-bentuk lainnya harus dirancang sesuai dengan 8.4.

Beban-beban eksentris dan gaya-gaya lateral digunakan untuk menentukan eksentris total gaya aksial terfaktor P_u . bila beban resultan untuk semua kombinasi beban yang bisa diterima jatuh di dalam tengah sepertiga ketebalan dinding (eksentrisitas tidak boleh lebih dari $h/6$) pada semua penampang sepanjang panjang dinding tak-deformed, metode design empirikal dapat digunakan. Desain dilakukan dengan memperhitungkan P_u sebagai beban konsentris. Gaya aksial terfaktor P_u harus lebih kecil dari atau sama dengan kekuatan aksial desain ϕP_n dihitung dengan Persamaan (45), $P_u \leq \phi P_n$.

Dengan suplemen Peraturan tahun 1980, Persamaan (45) telah direvisi untuk mencerminkan rentang umum dari kondisi akhir encountered pada desain dinding. Kekuatan dinding yang dipertanyakan dalam Peraturan tahun 1977 didasarkan asumsi suatu dinding dengan terjepit atas dan bawahnya melawan pergerakan lateral, dan dengan pengekangan momen pada ujung satu sesuai dengan faktor panjang efektif antara 0,8 dan 0,9. Nilai kekuatan aksial ditentukan dari persamaan orisinil yang tak-konservatif bila dibandingkan dengan hasil uji^{14.1} untuk dinding-dinding dengan kondisi disendikan pada kedua ujung-ujungnya, seperti terjadi dengan beberapa aplikasi pracetak dan tilt-up, atau bila bagian atas dinding tidak terbreis efektif melawan translasi, seperti terjadi dengan dinding-dinding berdiri bebas atau di dalam struktur lebih besar di mana defleksi diafragma atap yang berarti terjadi akibat beban angin dan gempa. Persamaan (45) memberi hasil yang sama seperti Peraturan tahun 1977 untuk dinding-dinding terbreis melawan translasi dan dengan pengekangan dasar yang bisa diterima melawan rotasi.^{14.2} Nilai-nilai faktor panjang efektif k yang diberikan untuk umumnya yang terjadi pada kondisi ujung dinding. Kondisi ujung "dikekang melawan rotasi" disyaratkan untuk k dari 0,8 menyiratkan penyambungan terhadap komponen struktur yang memiliki kekakuan lentur EI/ℓ sedikitnya lebih besar dari dinding tersebut.

Bagian kelangsingan dari hasil Persamaan (45) dalam kekuatan pembanding relatif dengan 8.4 untuk komponen struktur yang dibebani pada middle third dari ketebalan dengan dibreis berbeda dan kondisi ujung tertahan. Lihat Gambar R8.5.



Gambar R8.5 – Desain empiris dinding, Persamaan (45) versus 8.4

R8.5.3 Ketebalan minimum dinding-dinding dirancang dengan metode desain empiris

Persyaratan ketebalan minimum tidak perlu diberlakukan untuk dinding-dinding dirancang sesuai 8.4.

R8.8 Desain alternatif dinding-dinding langsing

Pasal 8.8 yang diperkenalkan dalam edisi tahun 1999 dan ketentuan didasarkan atas persyaratan dalam Uniform Building Code (UBC)^{14.3} tahun 1997 dan penelitian eksperimental.^{14.4} Penggantian yang dilakukan dalam edisi tahun 2008 untuk memperkecil perbedaan dalam ketentuan kemampuan layan dan menjamin bahwa maksud ketentuan UBC adalah dimasukkan dalam edisi future dari International Building Code.

Prosedur disajikan sebagai alternatif dalam persyaratan 10.10 ACI 318-08 untuk desain keluar bidang gambar dari panel dinding langsing, di mana panel dikekang melawan guling pada bagian atas.

Panel yang memiliki jendela atau bukaan-bukaan lebih besar lainnya tidak diperhitungkan memiliki penampang konstan sepanjang tinggi panel. Dinding-dinding tersebut harus dirancang dengan menghitung efek bukaan-bukaan.

Beberapa aspek desain dari dinding-dinding tilt-up dan bangunan gedung dibahas dalam Referensi 14.5 dan 14.6.

R8.8.2.3 Pasal ini telah diperbaharui dalam Peraturan 2005 untuk mencerminkan perubahan dalam pendekatan desain yang diperkenalkan dalam 10.3 dari Peraturan 2002.

Persyaratan sebelumnya bahwa rasio tulangan tidak boleh melebihi $0,6\rho_{bal}$ telah ditempatkan kembali dengan persyaratan bahwa dinding harus dikontrol mengalami tarik, dengan mencapai perkiraan rasio penulangan yang sama.

R8.8.3 Sebelum edisi tahun 2008, luas efektif tulangan longitudinal dalam suatu dinding langsing untuk memperoleh suatu perkiraan momen inersia retak dihitung dengan menggunakan luas efektif dari tulangan yang mengalami tarik didefinisikan sebagai

$$A_{se,w} = A_s + \frac{P_u}{f_y}$$

Tetapi, istilah ini kontribusi tersebut diperkirakan-lebih dari beban aksial dalam beberapa kasus di mana dua lapis tulangan yang digunakan dalam dinding langsing. Oleh karena itu, luas efektif tulangan longitudinal telah dimodifikasi dalam 2008

$$A_{se,w} = A_s + \frac{P_u}{f_y} \left(\frac{h/2}{d} \right)$$

Kedalaman sumbu netral, c , dalam Persamaan (52) sesuai dengan luas efektif tulangan longitudinal ini.

R8.8.4 Sebelum edisi tahun 2008, defleksi keluar bidang gambar pada panel-panel dinding harus dihitung dengan menggunakan prosedur dalam Pasal 9.5.2.3 ACI 318-08. Namun, mengevaluasi kembali data uji orisinil^{14.4} membuktikan bahwa defleksi keluar bidang gambar meningkatkan rapidly bila momen tingkat layan melebihi $2/3M_{cr}$. Interpolasi linier antara Δ_{cr} dan Δ_n digunakan untuk menentukan Δ_s untuk menyederhanakan desain dinding langsing jika $M_a > 2/3M_{cr}$.

Kombinasi beban tingkat layanan tidak didefinisikan dalam Bab 9 ACI 318, namun dibahas dalam Lampiran C ASCE/SEI 7-05.^{14.7} Tidak seperti ACI 318, lampiran-lampiran dalam ASCE/SEI 7 tidak dipertimbangkan menjadi bagian-bagian yang dipersyaratkan dari standar tersebut. Untuk penghitungan defleksi lateral tingkat layanan struktur, Lampiran C ASCE/SEI 7-05 merekomendasikan penggunaan kombinasi beban yang berikut

$$D + 0,5L + 0,7W$$

yang sesuai dengan 5 persen pelampauan probabilitas tahunan. Jika dinding langsing dirancang untuk menahan efek gempa, E , dan E didasarkan pada gaya gempa level kekuatan, kombinasi beban yang berikut dipertimbangkan menjadi sesuai untuk mengevaluasi defleksi lateral level layanan

$$D + 0,5L + 0,7E$$

Bibliografi

Chapter 1

- 1.1. ACI Committee 332, "Requirements for Residential Concrete Construction (ACI 332-04) dan Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2004, 26 hal.
- 1.2. ACI Committee 307, "Design and Construction of Reinforced Concrete Chimneys (ACI 307-98)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1998, 18 hal.
- 1.3. ACI Committee 313, "Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials (ACI 313-97)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1997, 19 hal.
- 1.4. ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI 349-06) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006, 153 hal.
- 1.5. Joint ACI-ASME Committee 359, "Code for Concrete Containments (ACI 359-01)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001.
- 1.6. ACI Committee 543, "Design, Manufacture, and Installation of Concrete Piles (ACI 543R-00) (Reapproved 2005)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2000, 49 hal.
- 1.7. ACI Committee 336, "Design and Construction of Drilled Piers (ACI 336.3R-93) (Reapproved 1998)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1993, 30 hal.
- 1.8. "Recommended Practice for Design, Manufacture, and Installation of Prestressed Concrete Piling," PCI Journal, V. 38, No. 2, Mar.-Apr. 1993, hal. 14-41.
- 1.9. ACI Committee 360, "Design of Slabs-on Ground (ACI 360R-06)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006, 74 hal.
- 1.10. PTI, "Design of Post-Tensioned Slabs-on-Ground," 3rd Edition, Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, 2004, 106 hal.
- 1.11. ANSI/ASCE 3-91, "Standard for the Structural Design of Composite Slabs," ASCE, Reston, VA, 1994.
- 1.12. ANSI/ASCE 9-91, "Standard Practice for the Construction and Inspection of Composite Slabs," American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 1994.
- 1.13. "Design Manual for Composite Decks, Form Decks and Roof Decks," Publication No. 30, Steel Deck Institute, Fox River Grove, IL, 2000, 48 hal.
- 1.14. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-05)," ASCE, Reston, VA, 2005.
- 1.15. "International Building Code," International Code Council, Falls Church, VA, 2006.
- 1.16. "Building Construction and Safety Code—NFPA 5000," National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2006.
- 1.17. "The BOCA National Building Code, 13th Edition," Building Officials and Code Administration International, Inc., Country Club Hills, IL, 1996, 357 hal.
- 1.18. "Standard Building Code," Southern Building Code Congress International, Inc., Birmingham, AL, 1996, 656 hal.

- 1.19. Uniform Building Code, V. 2, Structural Engineering Design Provisions, 1997 Edition, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997, 492 hal.
- 1.20. "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures," Part 1: Provisions, and Part 2: Commentary (FEMA 450), Building Seismic Safety Council, Washington D.C., 2004.
- 1.21. ACI Committee 350, "Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-06) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006, 486 hal.
- 1.22. ACI Committee 311, "Guide for Concrete Inspection (ACI 311.4R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 13 hal.
- 1.23. ACI Committee 311, ACI Manual of Concrete Inspection, SP-2, 9th Edition, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1999, 209 hal.

Chapter 3

- 3.1. ACI Committee 214, "Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI 214R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002, 20 hal.
- 3.2 ACI Committee 440, "Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars (ACI 440.1R-06)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 44 hal.
- 3.3 ACI Committee 440, "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening of Concrete Structures (ACI 440.2R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 45 hal.
- 3.4. Gustafson, D. P., dan Felder, A. L., "Questions and Answers on ASTM A 706 Reinforcing Bars," Concrete International, V. 13, No. 7, July 1991, hal. 54-57.
- 3.5. Rutledge, S., dan DeVries, R. A., "Development of D45 Wire in Concrete," Report, School of Civil and Environmental Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, OK, Jan. 2002, 28 hal.
- 3.6. Parra-Montesinos, G. J., "Shear Strength of Beams with Deformed Steel Fibers," Concrete International, V. 28, No. 11, Nov. 2006, hal. 57-66.
- 3.7. ACI Committee 223, "Standard Practice for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete (ACI 223-98)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 26 hal.

Chapter 4

- 4.1. Li, S., dan Roy, D. M., "Investigation of Relations between Porosity, Pore Structure and CL Diffusion of Fly Ash and Blended Cement Pastes," Cement and Concrete Research, V. 16, No. 5, Sept. 1986, hal. 749-759.
- 4.2. ACI Committee 234, "Guide for the Use of Silica Fume in Concrete (ACI 234R-06)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006, 63 hal.
- 4.3. ACI Committee 233, "Slag Cement in Concrete and Mortar (ACI 233R-03)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 19 hal.
- 4.4. Ozyildirim, C., dan Halstead, W., "Resistance to Chloride Ion Penetration of Concretes Containing Fly Ash, Silica Fume, or Slag," Permeability of Concrete, SP-108, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1988, hal. 35-61.

- 4.5. ASTM C1202-05, "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration," ASTM Book of Standards, Part 04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, 2005, 6 hal.
- 4.6. ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-01)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001, 41 hal.
- 4.7. ACI Committee 222, "Protection of Metals in Concrete Against Corrosion (ACI 222R-01)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001, 41 hal.
- 4.8. ACI Committee 222, "Provisional Standard Test Method for Water-Soluble Chloride Available for Corrosion of Embedded Steel in Mortar and Concrete Using the Soxhlet Extractor (ACI 222.1-96)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 3 hal.
- 4.9. ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) (Reapproved 2002)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, 38 hal.
- 4.10. Drahushak-Crow, R., "Freeze-Thaw Durability of Fly Ash Concrete," EPRI Proceedings, Eighth International Ash Utilization Symposium, V. 2, Oct. 1987, p. 37-1.
- 4.11. Whiting, D., "Deicer Scaling and Resistance of Lean Concretes Containing Fly Ash," Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, SP-114, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1989, hal. 349-372.

Chapter 5

- 5.1. ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) (Reapproved 2002)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, 38 hal.
- 5.2. ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-98) (Reapproved 2004)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1998, 20 hal.
- 5.3. ASTM C1077-07, "Standard Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation," ASTM, West Conshohocken, PA, 2007, 6 hal.
- 5.4. ASTM D3665-07, "Standard Practice for Random Sampling of Construction Materials," ASTM, West Conshohocken, PA, 2007, 13 hal.
- 5.5. ACI Committee 214, "Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI 214R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002, 20 hal.
- 5.6. Carino, N. J.; Guthrie, W. F.; Lagergren, E. S.; dan Mullings, G. M., "Effects of Testing Variables on the Strength of High-Strength (90 MPa) Concrete Cylinders," High-Performance Concrete, SP-149, V. M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1994, hal. 589-632.
- 5.7. Bloem, D. L., "Concrete Strength Measurement—Cores vs. Cylinders," Proceedings, ASTM, V. 65, 1965, hal. 668-696.
- 5.8. Bloem, D. L., "Concrete Strength in Structures," ACI JOURNAL, Proceedings V. 65, No. 3, Mar. 1968, hal. 176-187.
- 5.9. Malhotra, V. M., Testing Hardened Concrete: Nondestructive Methods, ACI Monograph No. 9, American Concrete Institute/Iowa State University Press, Farmington Hills, MI, 1976, 188 hal.

- 5.10. Malhotra, V. M., "Contract Strength Requirements—Cores Versus In Situ Evaluation," ACI JOURNAL, Proceedings V. 74, No. 4, Apr. 1977, hal. 163-172.
- 5.11. Bartlett, M. F., dan MacGregor, J. G., "Effect of Moisture Condition on Concrete Core Strengths," ACI Materials Journal, V. 91, No. 3, May-June 1994, hal. 227-236.
- 5.12. Chen, L.; Mindess, S.; Morgan, D. R.; Shah, S. P.; Johnston, C. D.; and Pigeon, M., "Comparative Toughness Testing of Fiber Reinforced Concrete," Testing of Fiber Reinforced Concrete, SP-155, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1995, hal. 41-69.
- 5.13. ACI Committee 304, "Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete (ACI 304R-00)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2000, 41 hal.
- 5.14. Newlon, H., Jr., dan Ozol, A., "Delayed Expansion of Concrete Delivered by Pumping through Aluminum Pipe Line," Concrete Case Study No. 20, Virginia Highway Research Council, Oct. 1969, 39 hal.
- 5.15. ACI Committee 309, "Guide for Consolidation of Concrete (ACI 309R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 36 hal.
- 5.16. ACI Committee 308, "Guide to Curing Concrete (ACI 308R-01)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001, 31 hal.
- 5.17. ACI Committee 306, "Cold Weather Concreting (ACI 306R-88) (Reapproved 2002)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1988, 23 hal.
- 5.18. ACI Committee 305, "Hot Weather Concreting (ACI 305R-99)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1999, 20 hal.

Chapter 6

- 6.1. ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete (ACI 347-04)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2004, 32 hal.
- 6.2. Hurd, M. K., dan ACI Committee 347, Formwork for Concrete, SP-4, 7th Edition, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 500 hal.
- 6.3. Liu, X. L.; Lee, H. M.; dan Chen, W. F., "Shoring and Reshoring of High-Rise Buildings," Concrete International, V. 10, No. 1, Jan. 1989, hal. 64-68.
- 6.4. ASTM C873-04, "Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds," ASTM, West Conshohocken, PA, 2004, 4 hal.
- 6.5. ASTM C803/C803M-03, "Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete," ASTM, West Conshohocken, PA, 2003, 5 hal.
- 6.6. ASTM C900-06, "Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete," ASTM, West Conshohocken, PA, 2006, 10 hal.
- 6.7. ASTM C1074-04, "Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method," ASTM, West Conshohocken, PA, 2004, 9 hal.
- 6.8. "Power Piping (ANSI/ASME B 31.1-1992)," American Society of Mechanical Engineers, New York, 1992.
- 6.9. "Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping (ANSI/ASME B 31.3-1990)," American Society of Mechanical Engineers, New York, 1990.

Chapter 7

- 7.1. ACI Committee 315, ACI Detailing Manual—2004, SP-66, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2004, 212 hal.
- 7.2. Black, W. C., "Field Corrections to Partially Embedded Reinforcing Bars," ACI JOURNAL, Proceedings V. 70, No. 10, Oct. 1973, hal. 690-691.
- 7.3. Stecich, J.; Hanson, J. M.; dan Rice, P. F.; "Bending and Straightening of Grade 60 Reinforcing Bars," Concrete International: Design & Construction, V. 6, No. 8, Aug. 1984, hal. 14-23.
- 7.4. Kemp, E. L.; Brezny, F. S.; dan Unterspan, J. A., "Effect of Rust and Scale on the Bond Characteristics of Deformed Reinforcing Bars," ACI JOURNAL, Proceedings V. 65, No. 9, Sept. 1968, hal. 743-756.
- 7.5. Sason, A. S., "Evaluation of Degree of Rusting on Prestressed Concrete Strand," PCI Journal, V. 37, No. 3, May-June 1992, hal. 25-30.
- 7.6. ACI Committee 117, "Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary (ACI 117-06)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 70 hal.
- 7.7. PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete, 6th Edition, MNL-120-4, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2004, 736 hal.
- 7.8. ACI Committee 408, "Bond Stress—The State of the Art," ACI JOURNAL, Proceedings V. 63, No. 11, Nov. 1966, hal. 1161-1188.
- 7.9. "Standard Specifications for Highway Bridges," 15th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1992, 686 hal.
- 7.10. Deatherage, J. H.; Burdette, E. G.; dan Chew, C. K., "Development Length and Lateral Spacing Requirements of Prestressing Strand for Prestressed Concrete Bridge Girders," PCI Journal, V. 39, No. 1, Jan.-Feb. 1994, hal. 70-83.
- 7.11. Russell, B. W., dan Burns, N. H. "Measured Transfer Lengths of 0.5 and 0.6 in. Strands in Pretensioned Concrete," PCI Journal, V. 41, No. 5, Sept.-Oct. 1996, hal. 44-65.
- 7.12. ACI Committee 362, "Guide for the Design of Durable Parking Structures (ACI 362.1R-97) (Reapproved 2002)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1997, 33 hal.
- 7.13. Hanson, N. W., dan Conner, H. W., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Beam-Column Joints," Proceedings, ASCE, V. 93, No. ST5, Oct. 1967, hal. 533-560.
- 7.14. Joint ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002, 37 hal.
- 7.15. Pfister, J. F., "Influence of Ties on the Behavior of Reinforced Concrete Columns," ACI JOURNAL, Proceedings V. 61, No. 5, May 1964, hal. 521-537.
- 7.16. Gilbert, R. I., "Shrinkage Cracking in Fully Restrained Concrete Members," ACI Structural Journal, V. 89, No. 2, Mar.-Apr. 1992, hal. 141-149.
- 7.17. "Design and Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete," MNL-123-88, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1988, 270 hal.
- 7.18. PCI Building Code Committee, "Proposed Design Requirements for Precast Concrete," PCI Journal, V. 31, No. 6, Nov.-Dec. 1986, hal. 32-47.

Chapter 8

- 8.1. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures(ASCE/SEI 7-05)," ASCE, Reston, VA, 2005.
- 8.2. Fintel, M.; Ghosh, S. K.; dan Iyengar, H., Column Shortening in Tall Buildings—Prediction and Compensation, EB108D, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1986, 34 hal.
- 8.3. Bondy, K. B., "Moment Redistribution—Principles and Practice Using ACI 318-02," PTI Journal, V. 1, No. 1, Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, Jan. 2003, hal. 3-21.
- 8.4. Cohn, M. Z., "Rotational Compatibility in the Limit Design of Reinforced Concrete Continuous Beams," Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, SP-12, American Concrete Institute/American Society of Civil Engineers, Farmington Hills, MI, 1965, hal. 359-382.
- 8.5. Mattock, A. H., "Redistribution of Design Bending Moments in Reinforced Concrete Continuous Beams," Proceedings, Institution of Civil Engineers (London), V. 13, 1959, hal. 35-46.
- 8.6. Mast, R. F., "Unified Design Provision for Reinforced and Prestressed Concrete Flexural and Compression Members," ACI Structural Journal, V. 89, No. 2, Mar.-Apr. 1992, hal. 185-199.
- 8.7. Pauw, A., "Static Modulus of Elasticity of Concrete as Affected by Density," ACI JOURNAL, Proceedings V. 57, No. 6, Dec. 1960, hal. 679-687.
- 8.8. ASTM C469-02e1, "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression," ASTM, West Conshohocken, PA, 2002, 5 hal.
- 8.9. Ivey, D. L., dan Buth, E., "Shear Capacity of Lightweight Concrete Beams," ACI JOURNAL, Proceedings V. 64, No. 10, Oct. 1967, hal. 634-643.
- 8.10. Hanson, J. A., "Tensile Strength and Diagonal Tension Resistance of Structural Lightweight Concrete," ACI JOURNAL, Proceedings V. 58, No. 1, July 1961, hal. 1-40.
- 8.11. Handbook of Frame Constants, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1972, 34 hal.
- 8.12. Moehle, J. P., "Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes," Earthquake Spectra, V. 8, No. 3, Aug. 1992, hal. 403-428.
- 8.13. Lepage, A., "Nonlinear Drift of Multistory RC Structures during Earthquakes," Sixth National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, WA, 1998.
- 8.14. Vanderbilt, M. D., dan Corley, W. G., "Frame Analysis of Concrete Building," Concrete International, V. 5, No. 12, Dec. 1983, hal. 33-43.
- 8.15. Hwang, S., dan Moehle, J. P., "Models for Laterally Loaded Slab-Column Frames," ACI Structural Journal, V. 97, No. 2, Mar.-Apr. 2000, hal. 345-353.
- 8.16. Dovich, L. M., dan Wight, J. K., "Effective Slab Width Model for Seismic Analysis of Flat Slab Frames," ACI Structural Journal, V. 102, No. 6, Nov.-Dec. 2005, hal. 868-875.
- 8.17. "Continuity in Concrete Building Frames," Portland Cement Association, Skokie, IL, 1959, 56 hal.

Chapter 9

- 9.1. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures," SEI/ASCE 7-02, ASCE, Reston, VA, 2002, 376 hal.
- 9.2. "International Building Code," International Code Council, Falls Church, VA, 2003.
- 9.3. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-93)," ASCE, New York, 1993, 134 hal.
- 9.4. "BOCA National Building Code," 13th Edition, Building Officials and Code Administration International, Inc., Country Club Hills, IL, 1993, 357 hal.
- 9.5. "Standard Building Code," Southern Building Code Congress International, Inc., Birmingham, AL, 1994, 656 hal.
- 9.6. "Uniform Building Code, V. 2, Structural Engineering Design Provisions," International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997, 492 hal.
- 9.7. MacGregor, J. G., "Safety and Limit States Design for Reinforced Concrete," Canadian Journal of Civil Engineering, V. 3, No. 4, Dec. 1976, hal. 484-513.
- 9.8. Winter, G., "Safety and Serviceability Provisions in the ACI Building Code," Concrete Design: U.S. and European Practices, SP-59, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1979, hal. 35-49.
- 9.9. Nowak, A. S., dan Szerszen, M. M., "Reliability-Based Calibration for Structural Concrete," Report UMCEE 01-04, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, Nov. 2001.
- 9.10. Nowak, A. S.; Szerszen, M. M.; Szeliga, E. K.; Szwed, A.; and Podhorecki, P. J., "Reliability-Based Calibration for Structural Concrete," Report No. UNLCE 05-03, University of Nebraska, Lincoln, NE, Oct. 2005.
- 9.11. Mlakar, P. F., ed., "Special Section: Performance of the Pentagon: Terrorist Attack of September 11, 2001," Journal of Performance of Constructed Facilities, V. 19, Issue 3, Aug. 2005, hal. 187-221. (a collection of five papers)
- 9.12. Mast, R. F., "Unified Design Provision for Reinforced and Prestressed Concrete Flexural and Compression Members," ACI Structural Journal, V. 89, No. 2, Mar.-Apr. 1992, hal. 185-199.
- 9.13. Deflections of Concrete Structures, SP-43, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1974, 637 hal.
- 9.14. ACI Committee 213, "Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete (ACI 213R-03)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 38 hal.
- 9.15. Branson, D. E., "Instantaneous and Time-Dependent Deflections on Simple and Continuous Reinforced Concrete Beams," HPR Report No. 7, Part 1, Alabama Highway Department, Bureau of Public Roads, Aug. 1965, hal. 1-78.
- 9.16. ACI Committee 435, "Deflections of Reinforced Concrete Flexural Members (ACI 435.2R-66)," ACI JOURNAL, Proceedings V. 63, No. 6, June 1966, hal. 637-674.
- 9.17. Subcommittee 1, ACI Committee 435, "Allowable Deflections (ACI 435.3R-68)," ACI JOURNAL, Proceedings V. 65, No. 6, June 1968, hal. 433-444.
- 9.18. ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures (ACI 209R-92) (Reapproved 1997)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 48 hal.

- 9.19. ACI Committee 435, "Deflections of Continuous Concrete Beams (ACI 435.5R-73) (Reapproved 1989)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1973, 7 hal.
- 9.20. ACI Committee 435, "Proposed Revisions by Committee 435 to ACI Building Code and Commentary Provisions on Deflections," ACI JOURNAL, Proceedings V. 75, No. 6, June 1978, hal. 229-238.
- 9.21. Branson, D. E., "Compression Steel Effect on Long-Time Deflections," ACI JOURNAL, Proceedings V. 68, No. 8, Aug. 1971, hal. 555-559.
- 9.22. Branson, D. E., Deformation of Concrete Structures, McGraw-Hill Book Co., New York, 1977, 546 hal.
- 9.23. PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete, 6th Edition, MNL-120-04, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2004, hal. 4-68 to 4-72.
- 9.24. Mast, R. F., "Analysis of Cracked Prestressed Concrete Sections: A Practical Approach," PCI Journal, V. 43, No. 4, July-Aug. 1998, hal. 80-91.
- 9.25. Shaikh, A. F., dan Branson, D. E., "Non-Tensioned Steel in Prestressed Concrete Beams," Journal of the Prestressed Concrete Institute, V. 15, No. 1, Feb. 1970, hal. 14-36.
- 9.26. Branson, D. E., discussion of "Proposed Revision of ACI 318-63: Building Code Requirements for Reinforced Concrete," by ACI Committee 318, ACI JOURNAL, Proceedings V. 67, No. 9, Sept. 1970, hal. 692-695.
- 9.27. Subcommittee 5, ACI Committee 435, "Deflections of Prestressed Concrete Members (ACI 435.1R-63)," ACI JOURNAL, Proceedings V. 60, No. 12, Dec. 1963, hal. 1697-1728.
- 9.28. Branson, D. E.; Meyers, B. L.; dan Kripanarayanan, K. M., "Time-Dependent Deformation of Noncomposite and Composite Prestressed Concrete Structures," Symposium on Concrete Deformation, Highway Research Record 324, Highway Research Board, 1970, hal. 15-43.
- 9.29. Ghali, A., dan Favre, R., Concrete Structures: Stresses and Deformations, Chapman and Hall, New York, 1986, 348 hal.

Chapter 10

- 10.1. Leslie, K. E.; Rajagopalan, K. S.; dan Everard, N. J., "Flexural Behavior of High-Strength Concrete Beams," ACI JOURNAL, Proceedings V. 73, No. 9, Sept. 1976, hal. 517-521.
- 10.2. Karr, P. H.; Hanson, N. W.; dan Capell, H. T.; "Stress-Strain Characteristics of High Strength Concrete," Douglas McHenry International Symposium on Concrete and Concrete Structures, SP-55, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1978, hal. 161-185.
- 10.3. Mattock, A. H.; Kriz, L. B.; dan Hognestad, E., "Rectangular Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design," ACI JOURNAL, Proceedings V. 57, No. 8, Feb. 1961, hal. 875-928.
- 10.4. ACI Committee 340, ACI Design Handbook (ACI 340R-97), SP-17(97), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1997, 482 hal.
- 10.5. CRSI Handbook, 9th Edition, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL, 2002, 648 hal.
- 10.6. Bresler, B., "Design Criteria for Reinforced Concrete Columns under Axial Load and Biaxial Bending," ACI JOURNAL, Proceedings V. 57, No. 5, Nov. 1960, hal. 481-490.

- 10.7. Parme, A. L.; Nieves, J. M.; dan Gouwens, A., "Capacity of Reinforced Rectangular Columns Subjected to Biaxial Bending," ACI JOURNAL, Proceedings V. 63, No. 9, Sept. 1966, hal. 911-923.
- 10.8. Heimdahl, P. D., dan Bianchini, A. C., "Ultimate Strength of Biaxially Eccentrically Loaded Concrete Columns Reinforced with High Strength Steel," Reinforced Concrete Columns, SP-50, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1975, hal. 100-101.
- 10.9. Furlong, R. W., "Concrete Columns Under Biaxially Eccentric Thrust," ACI JOURNAL, Proceedings V. 76, No. 10, Oct. 1979, hal. 1093-1118.
- 10.10. Hansell, W., dan Winter, G., "Lateral Stability of Reinforced Concrete Beams," ACI JOURNAL, Proceedings V. 56, No. 3, Sept. 1959, hal. 193-214.
- 10.11. Sant, J. K., dan Bletzacker, R. W., "Experimental Study of Lateral Stability of Reinforced Concrete Beams," ACI JOURNAL, Proceedings V. 58, No. 6, Dec. 1961, hal. 713-736.
- 10.12. Gergely, P., dan Lutz, L. A., "Maximum Crack Width in Reinforced Concrete Flexural Members," Causes, Mechanism, and Control of Cracking in Concrete, SP-20, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1968, hal. 87-117.
- 10.13. Kaar, P. H., "High Strength Bars as Concrete Reinforcement, Part 8: Similitude in Flexural Cracking of T-Beam Flanges," Journal, PCA Research and Development Laboratories, V. 8, No. 2, May 1966, hal. 2-12.
- 10.14. Base, G. D.; Reed, J. B.; Beeby, A. W.; dan Taylor, H. P. J., "An Investigation of the Crack Control Characteristics of Various Types of Bar in Reinforced Concrete Beams," Research Report No. 18, Cement and Concrete Association, London, Dec. 1966, 44 hal.
- 10.15. Beeby, A. W., "The Prediction of Crack Widths in Hardened Concrete," The Structural Engineer, V. 57A, No. 1, Jan. 1979, hal. 9-17.
- 10.16. Frosch, R. J., "Another Look at Cracking and Crack Control in Reinforced Concrete," ACI Structural Journal, V. 96, No. 3, May-June 1999, hal. 437-442.
- 10.17. ACI Committee 318, "Closure to Public Comments on ACI 318-99," Concrete International, V. 21, No. 5, May 1999, hal. 318-1 to 318-50.
- 10.18. Darwin, D. et al., "Debate: Crack Width, Cover, and Corrosion," Concrete International, V. 7, No. 5, May 1985, hal. 20-35.
- 10.19. Oesterle, R. G., "The Role of Concrete Cover in Crack Control Criteria and Corrosion Protection," RD Serial No. 2054, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1997.
- 10.20. Frantz, G. C., dan Breen, J. E., "Cracking on the Side Faces of Large Reinforced Concrete Beams," ACI JOURNAL, Proceedings V. 77, No. 5, Sept.-Oct. 1980, hal. 307-313.
- 10.21. Frosch, R. J., "Modeling and Control of Side Face Beam Cracking," ACI Structural Journal, V. 99, No. 3, May-June 2002, hal. 376-385.
- 10.22. Chow, L.; Conway, H.; dan Winter, G., "Stresses in Deep Beams," Transactions, ASCE, V. 118, 1953, hal. 686-708.
- 10.23. "Design of Deep Girders," IS079D, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1946, 10 hal.
- 10.24. Park, R., dan Paulay, T., Reinforced Concrete Structures, Wiley-Interscience, New York, 1975, 769 hal.
- 10.25. Furlong, R. W., "Column Slenderness and Charts for Design," ACI JOURNAL, Proceedings V. 68, No. 1, Jan. 1971, hal. 9-18.

- 10.26. "Reinforced Concrete Column Investigation—Tentative Final Report of Committee 105," ACI JOURNAL, Proceedings V. 29, No. 5, Feb. 1933, hal. 275-282.
- 10.27. Saatcioglu, M., dan Razvi, S. R., "Displacement-Based Design of Reinforced Concrete Columns for Confinement," ACI Structural Journal, V. 99, No. 1, Jan.-Feb. 2002, hal. 3-11.
- 10.28. Pessiki, S.; Graybeal, B.; dan Mudlock, M., "Proposed Design of High-Strength Spiral Reinforcement in Compression Members," ACI Structural Journal, V. 98, No. 6, Nov.-Dec. 2001, hal. 799-810.
- 10.29. Richart, F. E.; Brandzaeg, A.; dan Brown, R. L., "The Failure of Plain and Spirally Reinforced Concrete in Compression," Bulletin No. 190, University of Illinois Engineering Experiment Station, Apr. 1929, 74 hal.
- 10.30. "Guide to Design Criteria for Metal Compression Members," 2nd Edition, Column Research Council, Fritz Engineering Laboratory, Lehigh University, Bethlehem, PA, 1966.
- 10.31. MacGregor, J. G.; Breen, J. E.; dan Pfrang, E. O., "Design of Slender Concrete Columns," ACI JOURNAL, Proceedings V. 67, No. 1, Jan. 1970, hal. 6-28.
- 10.32. MacGregor, J. G., "Design of Slender Concrete Columns—Revisited," ACI Structural Journal, V. 90, No. 3, May-June 1993, hal. 302-309.
- 10.33. Ford, J. S.; Chang, D. C.; dan Breen, J. E., "Design Indications from Tests of Unbraced Multipanel Concrete Frames," Concrete International: Design and Construction, V. 3, No. 3, Mar. 1981, hal. 37-47.
- 10.34. Wilson, E. L., "Three-Dimensional Dynamic Analysis of Structures—With Emphasis on Earthquake Engineering," Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA, 1997.
- 10.35. MacGregor, J. G., dan Hage, S. E., "Stability Analysis and Design Concrete," Proceedings, ASCE, V. 103, No. ST 10, Oct. 1977.
- 10.36. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-05)," ASCE, Reston, VA, 2005.
- 10.37. Grossman, J. S., "Slender Concrete Structures—The New Edge," ACI Structural Journal, V. 87, No. 1, Jan.-Feb. 1990, hal. 39-52.
- 10.38. Grossman, J. S., "Reinforced Concrete Design," Building Structural Design Handbook, R. N. White dan C. G. Salmon, eds., John Wiley and Sons, New York, 1987.
- 10.39. Khuntia, M., dan Ghosh, S. K., "Flexural Stiffness of Reinforced Concrete Columns and Beams: Analytical Approach," ACI Structural Journal, V. 101, No. 3, May-June 2004, hal. 351-363.
- 10.40. Khuntia, M., dan Ghosh, S. K., "Flexural Stiffness of Reinforced Concrete Columns and Beams: Experimental Verification," ACI Structural Journal, V. 101, No. 3, May-June 2004, hal. 364-374.
- 10.41. Mirza, S. A.; Lee, P. M.; dan Morgan, D. L., "ACI Stability Resistance Factor for RC Columns," Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 113, No. 9, Sept. 1987, hal. 1963-1976.
- 10.42. Mirza, S. A., "Flexural Stiffness of Rectangular Reinforced Concrete Columns," ACI Structural Journal, V. 87, No. 4, July-Aug. 1990, hal. 425-435.
- 10.43. Lai, S. M. A., dan MacGregor, J. G., "Geometric Nonlinearities in Unbraced Multistory Frames," Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 109, No. 11, Nov. 1983, hal. 2528-2545.
- 10.44. Bianchini, A. C.; Woods, R. E.; dan Kesler, C. E., "Effect of Floor Concrete Strength on Column Strength," ACI JOURNAL, Proceedings V. 56, No. 11, May 1960, hal. 1149-1169.

- 10.45. Ospina, C. E., dan Alexander, S. D. B., "Transmission of Interior Concrete Column Loads through Floors," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 124, No. 6., June 1998, hal. 602-610.
- 10.46. Tikka, T. K., dan Mirza, S. A., "Nonlinear Equation for Flexural Stiffness of Slender Composite Columns in Major Axis Bending," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 132, No. 3, Mar. 2006, hal. 387-399.
- 10.47. Hawkins, N. M., "Bearing Strength of Concrete Loaded through Rigid Plates," *Magazine of Concrete Research (London)*, V. 20, No. 62, Mar. 1968, hal. 31-40.

Chapter 11

- 11.1. Joint ACI-ASCE Committee 426, "Shear Strength of Reinforced Concrete Members (ACI 426R-74)," *Proceedings*, ASCE, V. 99, No. ST6, June 1973, hal. 1148-1157.
- 11.2. MacGregor, J. G., dan Hanson, J. M., "Proposed Changes in Shear Provisions for Reinforced and Prestressed Concrete Beams," *ACI JOURNAL*, *Proceedings* V. 66, No. 4, Apr. 1969, hal. 276-288.
- 11.3. Joint ACI-ASCE Committee 326 (now 426), "Shear and Diagonal Tension," *ACI JOURNAL*, *Proceedings* V. 59, No. 1, Jan. 1962, hal. 1-30; No. 2, Feb. 1962, hal. 277-334; and No. 3, Mar. 1962, hal. 352-396.
- 11.4. Barney, G. B.; Corley, W. G.; Hanson, J. M.; dan Parmelee, R. A., "Behavior and Design of Prestressed Concrete Beams with Large Web Openings," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 22, No. 6, Nov.-Dec. 1977, hal. 32-61.
- 11.5. Schlaich, J.; Schafer, K.; dan Jennewein, M., "Toward a Consistent Design of Structural Concrete," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 32, No. 3, May-June 1987, hal. 74-150.
- 11.6. Joint Committee, "Recommended Practice and Standard Specification for Concrete and Reinforced Concrete," *Proceedings*, ASCE, V. 66, No. 6, Part 2, June 1940, 81 hal.
- 11.7. Mphonde, A. G., dan Frantz, G. C., "Shear Tests of High and Low-Strength Concrete Beams without Stirrups," *ACI JOURNAL*, *Proceedings* V. 81, No. 4, July-Aug. 1984, hal. 350-357.
- 11.8. Elzanaty, A. H.; Nilson, A. H.; dan Slate, F. O., "Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Using High Strength Concrete," *ACI JOURNAL*, *Proceedings* V. 83, No. 2, Mar.-Apr. 1986, hal. 290-296.
- 11.9. Roller, J. J., dan Russell, H. G., "Shear Strength of High-Strength Concrete Beams with Web Reinforcement," *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 2, Mar.-Apr. 1990, hal. 191-198.
- 11.10. Johnson, M. K., dan Ramirez, J. A., "Minimum Amount of Shear Reinforcement in High Strength Concrete Members," *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 4, July-Aug. 1989, hal. 376-382.
- 11.11. Ozcebe, G.; Ersoy, U.; dan Tankut, T., "Evaluation of Minimum Shear Reinforcement for Higher Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 96, No. 3, May-June 1999, hal. 361-368.
- 11.12. Kani, G. N. J., "Basic Facts Concerning Shear Failure," *ACI JOURNAL*, *Proceedings* V. 63, No. 6, June 1966, hal. 675-692.
- 11.13. Kani, G. N. J., "How Safe Are Our Large Reinforced Concrete Beams," *ACI JOURNAL*, *Proceedings* V. 64, No. 3, Mar. 1967, hal. 128-141.

- 11.14. Faradji, M. J., dan Diaz de Cossio, R., "Diagonal Tension in Concrete Members of Circular Section" (in Spanish) Institut de Ingenieria, Mexico (translation by Portland Cement Association, Foreign Literature Study No. 466).
- 11.15. Khalifa, J. U., dan Collins, M. P., "Circular Reinforced Concrete Members Subjected to Shear," Publications No. 81-08, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Dec. 1981.
- 11.16. PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete, 6th Edition, MNL-120-4, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2004, 736 hal.
- 11.17. ACI Committee 318, "Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-63)," SP-10, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1965, hal. 78-84.
- 11.18. Guimares, G. N.; Kreger, M. E.; dan Jirsa, J. O., "Evaluation of Joint-Shear Provisions for Interior Beam-Column-Slab Connections Using High Strength Materials," ACI Structural Journal, V. 89, No. 1, Jan.-Feb. 1992, hal. 89-98.
- 11.19. Griezic, A.; Cook, W. D.; dan Mitchell, D., "Tests to Determine Performance of Deformed Welded-Wire Fabric Stirrups," ACI Structural Journal, V. 91, No. 2, Mar.-Apr. 1994, hal. 211-220.
- 11.20. Furlong, R. W.; Fenves, G. L.; dan Kasl, E. P., "Welded Structural Wire Reinforcement for Columns," ACI Structural Journal, V. 88, No. 5, Sept.-Oct. 1991, hal. 585-591.
- 11.21. Angelakos, D.; Bentz, E. C.; dan Collins, M. D., "Effect of Concrete Strength and Minimum Stirrups on Shear Strength of Large Members," ACI Structural Journal, V. 98, No. 3, May-June 2001, hal. 290-300.
- 11.22. Lubell, A. S.; Sherwood, E. G.; Bentz, E. C.; dan Collins, M. P., "Safe Shear Design of Large Wide Beams," Concrete International, V. 26, No. 1, Jan. 2004, hal. 66-78.
- 11.23. Brown, M. D.; Bayrak, O.; dan Jirsa, J. O., "Design for Shear Based on Loading Conditions," ACI Structural Journal, V. 103, No. 4, July-Aug. 2006, hal. 541-550.
- 11.24. Becker, R. J., dan Buettner, D. R., "Shear Tests of Extruded Hollow Core Slabs," PCI Journal, V. 30, No. 2, Mar.-Apr. 1985.
- 11.25. Anderson, A. R., "Shear Strength of Hollow Core Members," Technical Bulletin 78-81, Concrete Technology Associates, Tacoma, WA, Apr. 1978, 33 hal.
- 11.26. Hawkins, N. M., dan Ghosh, S. K., "Shear Strength of Hollow Core Slabs," PCI Journal, V. 51, No. 1, Jan.-Feb. 2006, hal. 110-114.
- 11.27. Parra-Montesinos, G. J., "Shear Strength of Beams with Deformed Steel Fibers," Concrete International, V. 28, No. 11, Nov. 2006, hal. 57-66.
- 11.28. Olesen, S. E.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Investigation of Prestressed Reinforced Concrete for Highway Bridges, Part IV: Strength in Shear of Beams with Web Reinforcement," Bulletin No. 493, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana, IL, 1967.
- 11.29. Anderson, N. S., dan Ramirez, J. A., "Detailing of Stirrup Reinforcement," ACI Structural Journal, V. 86, No. 5, Sept.-Oct. 1989, hal. 507-515.
- 11.30. Leonhardt, F., dan Walther, R., "The Stuttgart Shear Tests," C&CA Translation, No. 111, Cement and Concrete Association, London, 1964, 134 hal.
- 11.31. MacGregor, J. G., dan Ghoneim, M. G., "Design for Torsion," ACI Structural Journal, V. 92, No. 2, Mar.-Apr. 1995, hal. 211-218.
- 11.32. Hsu, T. T. C., "ACI Shear and Torsion Provisions for Prestressed Hollow Girders," ACI Structural Journal, V. 94, No. 6, Nov.-Dec. 1997, hal. 787-799.

- 11.33. Hsu, T. T. C., "Torsion of Structural Concrete—Behavior of Reinforced Concrete Rectangular Members," *Torsion of Structural Concrete*, SP-18, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1968, hal. 291-306.
- 11.34. Collins, M. P., dan Lampert, P., "Redistribution of Moments at Cracking—The Key to Simpler Torsion Design?" *Analysis of Structural Systems for Torsion*, SP-35, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1973, hal. 343-383.
- 11.35. Hsu, T. T. C., dan Burton, K. T., "Design of Reinforced Concrete Spandrel Beams," *Proceedings, ASCE*, V. 100, No. ST1, Jan. 1974, hal. 209-229.
- 11.36. Hsu, T. C., "Shear Flow Zone in Torsion of Reinforced Concrete," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 116, No. 11, Nov. 1990, hal. 3206-3226.
- 11.37. Mitchell, D., dan Collins, M. P., "Detailing for Torsion," *ACI JOURNAL*, Proceedings V. 73, No. 9, Sept. 1976, hal. 506-511.
- 11.38. Behera, U., dan Rajagopalan, K. S., "Two-Piece U-Stirrups in Reinforced Concrete Beams," *ACI JOURNAL*, Proceedings V. 66, No. 7, July 1969, hal. 522-524.
- 11.39. Zia, P., dan McGee, W. D., "Torsion Design of Prestressed Concrete," *PCI Journal*, V. 19, No. 2, Mar.-Apr. 1974.
- 11.40. Zia, P., dan Hsu, T. T. C., "Design for Torsion and Shear in Prestressed Concrete Flexural Members," *PCI Journal*, V. 49, No. 3, May-June 2004.
- 11.41. Collins, M. P., dan Mitchell, D., "Shear and Torsion Design of Prestressed and Non-Prestressed Concrete Beams," *PCI Journal*, V. 25, No. 4, Sept.-Oct. 1980.
- 11.42. Klein, G. J., "Design of Spandrel Beams," *PCI Specially Funded Research Project No. 5*, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1986.
- 11.43. Birkeland, P. W., and Birkeland, H. W., "Connections in Precast Concrete Construction," *ACI JOURNAL*, Proceedings V. 63, No. 3, Mar. 1966, hal. 345-368.
- 11.44. Mattock, A. H., and Hawkins, N. M., "Shear Transfer in Reinforced Concrete—Recent Research," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 17, No. 2, Mar.-Apr. 1972, hal. 55-75.
- 11.45. Mattock, A. H.; Li, W. K.; dan Wang, T. C., "Shear Transfer in Lightweight Reinforced Concrete," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 21, No. 1, Jan.-Feb. 1976, hal. 20-39.
- 11.46. Mattock, A. H., "Shear Transfer in Concrete Having Reinforcement at an Angle to the Shear Plane," *Shear in Reinforced Concrete*, SP-42, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1974, hal. 17-42.
- 11.47. Mattock, A. H., discussion of "Considerations for the Design of Precast Concrete Bearing Wall Buildings to Withstand Abnormal Loads," by PCI Committee on Precast Concrete Bearing Wall Buildings, *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 22, No. 3, May-June 1977, hal. 105-106.
- 11.48. "Chapter 1—Composite Members," *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel for Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, Sept. 1986, hal. 51-58.
- 11.49. Kahn, L. F., dan Mitchell, A. D., "Shear Friction Tests with High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 99, No. 1, Jan.-Feb. 2002, hal. 98-103.
- 11.50. Mattock, A. H., "Shear Friction and High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 98, No. 1, Jan.-Feb. 2001, hal. 50-59.

- 11.51. Mattock, A. H.; Johal, L.; dan Chow, H. C., "Shear Transfer in Reinforced Concrete with Moment or Tension Acting Across the Shear Plane," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 20, No. 4, July-Aug. 1975, hal. 76-93.
- 11.52. Rogowsky, D. M., dan MacGregor, J. G., "Design of Reinforced Concrete Deep Beams," *Concrete International*, V. 8, No. 8, Aug. 1986, hal. 46-58.
- 11.53. Marti, P., "Basic Tools of Reinforced Concrete Beam Design," *ACI JOURNAL*, Proceedings V. 82, No. 1, Jan.-Feb. 1985, hal. 46-56.
- 11.54. Crist, R. A., "Shear Behavior of Deep Reinforced Concrete Beams," *Proceedings, Symposium on the Effects of Repeated Loading of Materials and Structural Elements (Mexico City, 1966)*, V. 4, RILEM, Paris, 31 hal.
- 11.55. Kriz, L. B., dan Raths, C. H., "Connections in Precast Concrete Structures—Strength of Corbels," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 10, No. 1, Feb. 1965, hal. 16-47.
- 11.56. Mattock, A. H.; Chen, K. C.; dan Soongswang, K., "The Behavior of Reinforced Concrete Corbels," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 21, No. 2, Mar.-Apr. 1976, hal. 52-77.
- 11.57. Cardenas, A. E.; Hanson, J. M.; Corley, W. G.; dan Hognestad, E., "Design Provisions for Shear Walls," *ACI JOURNAL*, Proceedings V. 70, No. 3, Mar. 1973, hal. 221-230.
- 11.58. Barda, F.; Hanson, J. M.; dan Corley, W. G., "Shear Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements," *Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones, SP-53*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1977, hal. 149-202.
- 11.59. Hanson, N. W., dan Conner, H. W., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Beam-Column Joints," *Proceedings, ASCE*, V. 93, No. ST5, Oct. 1967, hal. 533-560.
- 11.60. Joint ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002, 37 hal.
- 11.61. Joint ACI-ASCE Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members-Slabs," *Proceedings, ASCE*, V. 100, No. ST8, Aug. 1974, hal. 1543-1591.
- 11.62. Vanderbilt, M. D., "Shear Strength of Continuous Plates," *Journal of the Structural Division, ASCE*, V. 98, No. ST5, May 1972, hal. 961-973.
- 11.63. Joint ACI-ASCE Committee 423, "Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons (ACI 423.3R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 25 hal.
- 11.64. Burns, N. H., dan Hemakom, R., "Test of Scale Model of Post-Tensioned Flat Plate," *Proceedings, ASCE*, V. 103, No. ST6, June 1977, hal. 1237-1255.
- 11.65. Hawkins, N. M., "Shear Strength of Slabs with Shear Reinforcement," *Shear in Reinforced Concrete, SP-42*, V. 2, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1974, hal. 785-815.
- 11.66. Broms, C. E., "Shear Reinforcement for Deflection Ductility of Flat Plates," *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 6, Nov.-Dec. 1990, hal. 696-705.
- 11.67. Yamada, T.; Nanni, A.; dan Endo, K., "Punching Shear Resistance of Flat Slabs: Influence of Reinforcement Type and Ratio," *ACI Structural Journal*, V. 88, No. 4, July-Aug. 1991, hal. 555-563.
- 11.68. Hawkins, N. M.; Mitchell, D.; dan Hannah, S. N., "The Effects of Shear Reinforcement on Reversed Cyclic Loading Behavior of Flat Plate Structures," *Canadian Journal of Civil Engineering (Ottawa)*, V. 2, 1975, hal. 572-582.

- 11.69. Joint ACI-ASCE Committee 421, "Shear Reinforcement for Slabs (ACI 421.1R-99) (Reapproved 2006)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1999, 15 hal.
- 11.70. Corley, W. G., dan Hawkins, N. M., "Shearhead Reinforcement for Slabs," ACI JOURNAL, Proceedings V. 65, No. 10, Oct. 1968, hal. 811-824.
- 11.71. Hanson, N. W., dan Hanson, J. M., "Shear and Moment Transfer between Concrete Slabs and Columns," Journal, PCA Research and Development Laboratories, V. 10, No. 1, Jan. 1968, hal. 2-16.
- 11.72. Hawkins, N. M., "Lateral Load Resistance of Unbonded Post-Tensioned Flat Plate Construction," Journal of the Prestressed Concrete Institute, V. 26, No. 1, Jan.-Feb. 1981, hal. 94-115.
- 11.73. Hawkins, N. M., dan Corley, W. G., "Moment Transfer to Columns in Slabs with Shearhead Reinforcement," Shear in Reinforced Concrete, SP-42, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1974, hal. 847-879.

Chapter 12

- 12.1. ACI Committee 408, "Bond Stress—The State of the Art," ACI JOURNAL, Proceedings V. 63, No. 11, Nov. 1966, hal. 1161-1188.
- 12.2. ACI Committee 408, "Suggested Development, Splice, and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension (ACI 408.1R-90)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1990, 3 hal.
- 12.3. Jirsa, J. O.; Lutz, L. A.; dan Gergely, P., "Rationale for Suggested Development, Splice, and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension," Concrete International: Design & Construction, V. 1, No. 7, July 1979, hal. 47-61.
- 12.4. Azizinamini, A.; Chisala, M.; dan Ghosh, S. K., "Tension Development Length of Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete," Engineering Structures, V. 17, No. 7, 1995, hal. 512-522.
- 12.5. Jirsa, J. O., dan Breen, J. E., "Influence of Casting Position and Shear on Development and Splice Length—Design Recommendations," Research Report 242-3F, Center for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, University of Texas at Austin, Nov. 1981.
- 12.6. Jeanty, P. R.; Mitchell, D.; dan Mirza, M. S., "Investigation of 'Top Bar' Effects in Beams," ACI Structural Journal V. 85, No. 3, May-June 1988, hal. 251-257.
- 12.7. Treece, R. A., dan Jirsa, J. O., "Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcing Bars," ACI Materials Journal, V. 86, No. 2, Mar.-Apr. 1989, hal. 167-174.
- 12.8. Johnston, D. W., dan Zia, P., "Bond Characteristics of Epoxy-Coated Reinforcing Bars," Report No. FHWA/NC/82-002, Department of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC, Aug. 1982.
- 12.9. Mathey, R. G., dan Clifton, J. R., "Bond of Coated Reinforcing Bars in Concrete," Journal of the Structural Division, ASCE, V. 102, No. ST1, Jan. 1976, hal. 215-228.
- 12.10. Orangun, C. O.; Jirsa, J. O.; dan Breen, J. E., "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices," ACI JOURNAL, Proceedings V. 74, No. 3, Mar. 1977, hal. 114-122.
- 12.11. Azizinamini, A.; Pavel, R.; Hatfield, E.; dan Ghosh, S. K., "Behavior of Spliced Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete," ACI Structural Journal, V. 96, No. 5, Sept.-Oct. 1999, hal. 826-835.

- 12.12. Azizinamini, A.; Darwin, D.; Eligehausen, R.; Pavel, R.; dan Ghosh, S. K., "Proposed Modifications to ACI 318-95 Development and Splice Provisions for High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 96, No. 6, Nov.-Dec. 1999, hal. 922-926.
- 12.13. Jirsa, J. O., dan Marques, J. L. G., "A Study of Hooked Bar Anchorages in Beam-Column Joints," *ACI JOURNAL*, Proceedings V. 72, No. 5, May 1975, hal. 198-200.
- 12.14. Hamad, B. S.; Jirsa, J. O.; dan D'Abreu, N. I., "Anchorage Strength of Epoxy-Coated Hooked Bars," *ACI Structural Journal*, V. 90, No. 2, Mar.-Apr. 1993, hal. 210-217.
- 12.15. Thompson, M. K.; Ziehl, M. J.; Jirsa, J. O.; dan Breen, J. E., "CCT Nodes Anchored by Headed Bars—Part 1: Behavior of Nodes," *ACI Structural Journal*, V. 102, No. 6, Nov.-Dec. 2005, hal. 808-815.
- 12.16. Thompson, M. K.; Jirsa, J. O.; dan Breen, J. E., "CCT Nodes Anchored by Headed Bars—Part 2: Capacity of Nodes," *ACI Structural Journal*, V. 103, No. 1, Jan.-Feb. 2006, hal. 65-73.
- 12.17. Thompson, M. K.; Ledesma, A.; Jirsa, J. O.; dan Breen, J. E., "Lap Splices Anchored by Headed Bars," *ACI Structural Journal*, V. 103, No. 2, Mar.-Apr. 2006, hal. 271-279.
- 12.18. Bartoletti, S. J., dan Jirsa, J. O., "Effects of Epoxy-Coating on Anchorage and Development of Welded Wire Fabric," *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 6, Nov.-Dec. 1995, hal. 757-764.
- 12.19. Rutledge, S., dan DeVries, R. A., "Development of D45 Wire in Concrete," Report, School of Civil and Environmental Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, OK, Jan. 2002, 28 hal.
- 12.20. Rose, D. R., dan Russell, B. W., "Investigation of Standardized Tests to Measure the Bond Performance of Prestressing Strand," *PCI Journal*, V. 42, No. 4, July-Aug. 1997, hal. 56-80.
- 12.21. Logan, D. R., "Acceptance Criteria for Bond Quality of Strand for Pretensioned Prestressed Concrete Applications," *PCI Journal*, V. 42, No. 2, Mar.-Apr. 1997, hal. 52-90.
- 12.22. Martin, L., dan Korkosz, W., "Strength of Prestressed Members at Sections Where Strands Are Not Fully Developed," *PCI Journal*, V. 40, No. 5, Sept.-Oct. 1995, hal. 58-66.
- 12.23. *PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete*, 6th Edition, MNL-120-4, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2004, hal. 4-27 to 4-29.
- 12.24. Kaar, P., dan Magura, D., "Effect of Strand Blanketing on Performance of Pretensioned Girders," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 10, No. 6, Dec. 1965, hal. 20-34.
- 12.25. Hanson, N. W., dan Kaar, P. H., "Flexural Bond Tests Pretensioned Beams," *ACI JOURNAL*, Proceedings V. 55, No. 7, Jan. 1959, hal. 783-802.
- 12.26. Kaar, P. H.; La Fraugh, R. W.; dan Mass, M. A., "Influence of Concrete Strength on Strand Transfer Length," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 8, No. 5, Oct. 1963, hal. 47-67.
- 12.27. Rabbat, B. G.; Kaar, P. H.; Russell, H. G.; dan Bruce, R. N., Jr., "Fatigue Tests of Pretensioned Girders with Blanketed and Draped Strands," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 24, No. 4, July-Aug. 1979, hal. 88-114.
- 12.28. Rogowsky, D. M., dan MacGregor, J. G., "Design of Reinforced Concrete Deep Beams," *Concrete International*, V. 8, No. 8, Aug. 1986, hal. 46-58.
- 12.29. Joint PCI/WRI Ad Hoc Committee on Welded Wire Fabric for Shear Reinforcement, "Welded Wire Fabric for Shear Reinforcement," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 25, No. 4, July-Aug. 1980, hal. 32-36.

- 12.30. Pfister, J. F., dan Mattock, A. H., "High Strength Bars as Concrete Reinforcement, Part 5: Lapped Splices in Concentrically Loaded Columns," Journal, PCA Research and Development Laboratories, V. 5, No. 2, May 1963, hal. 27-40.
- 12.31. Lloyd, J. P., dan Kesler, C. E., "Behavior of One-Way Slabs Reinforced with Deformed Wire and Deformed Wire Fabric," T&AM Report No. 323, University of Illinois, 1969, 129 hal.
- 12.32. Lloyd, J. P., "Splice Requirements for One-Way Slabs Reinforced with Smooth Welded Wire Fabric," Publication No. R(S)4, Civil Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, OK, June 1971, 37 hal.

Chapter 13

- 13.1. Hatcher, D. S.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Test of a Reinforced Concrete Flat Plate," Proceedings, ASCE, V. 91, No. ST5, Oct. 1965, hal. 205-231.
- 13.2. Guralnick, S. A., dan LaFraugh, R. W., "Laboratory Study of a Forty-Five-Foot Square Flat Plate Structure," ACI JOURNAL, Proceedings V. 60, No. 9, Sept. 1963, hal. 1107-1185.
- 13.3. Hatcher, D. S.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Test of a Reinforced Concrete Flat Slab," Proceedings, ASCE, V. 95, No. ST6, June 1969, hal. 1051-1072.
- 13.4. Jirsa, J. O.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Test of a Flat Slab Reinforced with Welded Wire Fabric," Proceedings, ASCE, V. 92, No. ST3, June 1966, hal. 199-224.
- 13.5. Gamble, W. L.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Tests of a Two-Way Reinforced Concrete Floor Slab," Proceedings, ASCE, V. 95, No. ST6, June 1969, hal. 1073-1096.
- 13.6. Vanderbilt, M. D.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Test of a Modified Reinforced Concrete Two-Way Slab," Proceedings, ASCE, V. 95, No. ST6, June 1969, hal. 1097-1116.
- 13.7. Xanthakis, M., dan Sozen, M. A., "An Experimental Study of Limit Design in Reinforced Concrete Flat Slabs," Structural Research Series No. 277, Civil Engineering Studies, University of Illinois, Dec. 1963, 159 hal.
- 13.8. ACI Committee 340, ACI Design Handbook (ACI 340R-97), SP-17(97), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1997, 482 hal.
- 13.9. Mitchell, D., dan Cook, W. D., "Preventing Progressive Collapse of Slab Structures," Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 110, No. 7, July 1984, hal. 1513-1532.
- 13.10. Carpenter, J. E.; Kaar, P. H.; dan Corley, W. G., "Design of Ductile Flat-Plate Structures to Resist Earthquakes," Proceedings, Fifth World Conference on Earthquake Engineering Rome, June 1973, International Association for Earthquake Engineering, V. 2, hal. 2016-2019.
- 13.11. Morrison, D. G., dan Sozen, M. A., "Response to Reinforced Concrete Plate-Column Connections to Dynamic and Static Horizontal Loads," Structural Research Series No. 490, Civil Engineering Studies, University of Illinois, Apr. 1981, 249 hal.
- 13.12. Vanderbilt, M. D., dan Corley, W. G., "Frame Analysis of Concrete Buildings," Concrete International: Design and Construction, V. 5, No. 12, Dec. 1983, hal. 33-43.
- 13.13. Grossman, J. S., "Code Procedures, History, and Shortcomings: Column-Slab Connections," Concrete International, V. 11, No. 9, Sept. 1989, hal. 73-77.
- 13.14. Moehle, J. P., "Strength of Slab-Column Edge Connections," ACI Structural Journal, V. 85, No. 1, Jan.-Feb. 1988, hal. 89-98.

- 13.15. Joint ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Slab-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352.1R-89) (Reapproved 2004)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1989, 26 hal.
- 13.16. Jirsa, J. O.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Pattern Loadings on Reinforced Concrete Floor Slabs," Proceedings, ASCE, V. 95, No. ST6, June 1969, hal. 1117-1137.
- 13.17. Nichols, J. R., "Statical Limitations upon the Steel Requirement in Reinforced Concrete Flat Slab Floors," Transactions, ASCE, V. 77, 1914, hal. 1670-1736.
- 13.18. Corley, W. G.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Equivalent-Frame Analysis for Reinforced Concrete Slabs," Structural Research Series No. 218, Civil Engineering Studies, University of Illinois, June 1961, 166 hal.
- 13.19. Jirsa, J. O.; Sozen, M. A.; dan Siess, C. P., "Effects of Pattern Loadings on Reinforced Concrete Floor Slabs," Structural Research Series No. 269, Civil Engineering Studies, University of Illinois, July 1963.
- 13.20. Corley, W. G., dan Jirsa, J. O., "Equivalent Frame Analysis for Slab Design," ACI JOURNAL, Proceedings V. 67, No. 11, Nov. 1970, hal. 875-884.
- 13.21. Gamble, W. L., "Moments in Beam Supported Slabs," ACI JOURNAL, Proceedings V. 69, No. 3, Mar. 1972, hal. 149-157.

Chapter 14

- 14.1. Oberlander, G. D., dan Everard, N. J., "Investigation of Reinforced Concrete Walls," ACI JOURNAL, Proceedings V. 74, No. 6, June 1977, hal. 256-263.
- 14.2. Kripanarayanan, K. M., "Interesting Aspects of the Empirical Wall Design Equation," ACI JOURNAL, Proceedings V. 74, No. 5, May 1977, hal. 204-207.
- 14.3. Uniform Building Code, V. 2, "Structural Engineering Design Provisions," International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997, 492 hal.
- 14.4. Athey, J. W., ed., "Test Report on Slender Walls," Southern California Chapter of the American Concrete Institute and Structural Engineers Association of Southern California, Los Angeles, CA, 1982, 129 hal.
- 14.5. ACI Committee 551, "Tilt-Up Concrete Structures (ACI 551R-92) (Reapproved 2003)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 46 hal.
- 14.6. Carter III, J. W.; Hawkins, N. M.; dan Wood, S. L., "Seismic Response of Tilt-Up Construction," SRS No. 581, Civil Engineering Series, University of Illinois, Urbana, IL, Dec. 1993, 224 hal.
- 14.7. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-05)," ASCE, Reston, VA, 2005.

Chapter 15

- 15.1. ACI Committee 336, "Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footings and Mats (ACI 336.2R-88) (Reapproved 2002)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1988, 21 hal.
- 15.2. Kramrisch, F., dan Rogers, P., "Simplified Design of Combined Footings," Proceedings, ASCE, V. 87, No. SM5, Oct. 1961, p. 19.

15.3 Adebar, P.; Kuchma, D.; dan Collins, M. P., "Strut-and-Tie Models for the Design of Pile Caps: An Experimental Study," ACI Structural Journal, V. 87, No. 1, Jan.-Feb. 1990, hal. 81-92.

15.4. CRSI Handbook, 8th Edition, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL, 2008.

Chapter 16

16.1. Industrialization in Concrete Building Construction, SP-48, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1975, 240 hal.

16.2. Waddell, J. J., "Precast Concrete: Handling and Erection," Monograph No. 8, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1974, 146 hal.

16.3. "Design and Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete," MNL-123-88, 2nd Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1988, 270 hal.

16.4. PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete, 6th Edition, MNL-120-4, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2004, 736 hal.

16.5. "Design of Prefabricated Concrete Buildings for Earthquake Loads," Proceedings of Workshop, ATC-8, Applied Technology Council, Redwood City, CA, Apr. 27-29, 1981, 717 hal.

16.6. PCI Committee on Building Code and PCI Technical Activities Committee, "Proposed Design Requirements for Precast Concrete," PCI Journal, V. 31, No. 6, Nov.-Dec. 1986, hal. 32-47.

16.7. Joint ACI-ASCE Committee 550, "Design Recommendations for Precast Concrete Structures (ACI 550R-93) (Reapproved 2001)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1993, 8 hal.

16.8. ACI Committee 551, "Tilt-Up Concrete Structures (ACI 551R-92) (Reapproved 2003)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 46 hal.

16.9. Manual for Quality Control for Plants and Production of Structural Precast Concrete Products, MNL-116-99, 4th Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1999.

16.10. Manual for Quality Control for Plants and Production of Architectural Precast Concrete Products, MNL-117-96, 3rd Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1996, 219 hal.

16.11. Tolerance Manual for Precast and Prestressed Concrete Construction, MNL-135-00, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2000, 181 hal.

16.12. ACI Committee 117, "Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary (ACI 117-06)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006, 70 hal.

16.13. LaGue, D. J., "Load Distribution Tests on Precast Prestressed Hollow-Core Slab Construction," PCI Journal, V. 16, No. 6, Nov.-Dec. 1971, hal. 10-18.

16.14. Johnson, T., dan Ghadiali, Z., "Load Distribution Test on Precast Hollow Core Slabs with Openings," PCI Journal, V. 17, No. 5, Sept.-Oct. 1972, hal. 9-19.

16.15. Pfeifer, D. W., dan Nelson, T. A., "Tests to Determine the Lateral Distribution of Vertical Loads in a Long-Span Hollow-Core Floor Assembly," PCI Journal, V. 28, No. 6, Nov.-Dec. 1983, hal. 42-57.

- 16.16. Stanton, J., "Proposed Design Rules for Load Distribution in Precast Concrete Decks," ACI Structural Journal, V. 84, No. 5, Sept.-Oct. 1987, hal. 371-382.
- 16.17. Manual for the Design of Hollow Core Slabs, MNL-126-98, 2nd Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1998, 144 hal.
- 16.18. Stanton, J. F., "Response of Hollow-Core Floors to Concentrated Loads," PCI Journal, V. 37, No. 4, July-Aug. 1992, hal. 98-113.
- 16.19. Aswad, A., dan Jacques, F. J., "Behavior of Hollow-Core Slabs Subject to Edge Loads," PCI Journal, V. 37, No. 2, Mar.-Apr. 1992, hal. 72-84.
- 16.20. "Design of Concrete Structures for Buildings," CAN3-A23.3-M84, and "Precast Concrete Materials and Construction," CAN3-A23.4-M84, Canadian Standards Association, Rexdale, ON, Canada.
- 16.21. "Design and Construction of Large-Panel Concrete Structures," six reports, 762 hal., 1976-1980, EB 100D; three studies, 300 hal., 1980, EB 102D, Portland Cement Association, Skokie, IL.
- 16.22. PCI Committee on Precast Concrete Bearing Wall Buildings, "Considerations for the Design of Precast Concrete Bearing Wall Buildings to Withstand Abnormal Loads," PCI Journal, V. 21, No. 2, Mar.-Apr. 1976, hal. 18-51.
- 16.23. Salmons, J. R., dan McCrate, T. E., "Bond Characteristics of Untensioned Prestressing Strand," PCI Journal, V. 22, No. 1, Jan.-Feb. 1977, hal. 52-65.
- 16.24. PCI Committee on Quality Control and Performance Criteria, "Fabrication and Shipment Cracks in Prestressed Hollow-Core Slabs and Double Tees," PCI Journal, V. 28, No. 1, Jan.-Feb. 1983, hal. 18-39.
- 16.25. PCI Committee on Quality Control and Performance Criteria, "Fabrication and Shipment Cracks in Precast or Prestressed Beams and Columns," PCI Journal, V. 30, No. 3, May-June 1985, hal. 24-49.

Chapter 17

- 17.1. "Specification for Structural Steel Buildings—Allowable Stress Design and Plastic Design, with Commentary" June 1989, and "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings," Sept. 1986, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- 17.2. Kaar, P. H.; Kriz, L. B.; dan Hognestad, E., "Precast-Prestressed Concrete Bridges: (1) Pilot Tests of Continuous Girders," Journal, PCA Research and Development Laboratories, V. 2, No. 2, May 1960, hal. 21-37.
- 17.3. Saemann, J. C., dan Washa, G. W., "Horizontal Shear Connections between Precast Beams and Cast-in-Place Slabs," ACI JOURNAL, Proceedings V. 61, No. 11, Nov. 1964, hal. 1383-1409. Also see discussion, ACI JOURNAL, June 1965.
- 17.4. Hanson, N. W., "Precast-Prestressed Concrete Bridges: Horizontal Shear Connections," Journal, PCA Research and Development Laboratories, V. 2, No. 2, May 1960, hal. 38-58.
- 17.5. Grossfield, B., dan Birnstiel, C., "Tests of T-Beams with Precast Webs and Cast-in-Place Flanges," ACI JOURNAL, Proceedings V. 59, No. 6, June 1962, hal. 843-851.
- 17.6. Mast, R. F., "Auxiliary Reinforcement in Concrete Connections," Proceedings, ASCE, V. 94, No. ST6, June 1968, hal. 1485-1504.

Chapter 18

- 18.1. Mast, R. F., "Analysis of Cracked Prestressed Concrete Sections: A Practical Approach," PCI Journal, V. 43, No. 4, July-Aug. 1998.
- 18.2. PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete, 6th Edition, MNL-120-4, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2004, hal. 4-89 to 4-93.
- 18.3. Castro, A.; Kreger, M.; Bayrak, O.; Breen, J. E.; dan Wood, S. L., "Allowable Design Release Stresses for Pretensioned Concrete Beams," Report No. FHWA/TX-04/0-4086-2, Center For Transportation Research, University of Texas, Austin TX, Aug. 2004, 127 hal.
- 18.4. Dolan, C. W., dan Krohn, J. J., "A Case for Increasing the Allowable Compressive Release Stress for Prestressed Concrete," PCI Journal, V. 52, No. 1, Jan.-Feb. 2007, hal. 102-105.
- 18.5. Hale, W. M., dan Russell, B. W., "Effect of Allowable Compressive Stress at Release on Prestress Losses and on the Performance of Precast, Prestressed Concrete Bridge Girders," PCI Journal, V. 51, No. 2, Mar.-Apr. 2006, hal. 14-25.
- 18.6. Joint ACI-ASCE Committee 423, "Tentative Recommendations for Prestressed Concrete," ACI JOURNAL, Proceedings V. 54, No. 7, Jan. 1958, hal. 545-578.
- 18.7. ACI Committee 435, "Control of Deflection in Concrete Structures (ACI 435R-95) (Reapproved 2000) (Appendix B added 2003), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 89 hal.
- 18.8. PCI Committee on Prestress Losses, "Recommendations for Estimating Prestress Losses," Journal of the Prestressed Concrete Institute, V. 20, No. 4, July-Aug. 1975, hal. 43-75.
- 18.9. Zia, P.; Preston, H. K.; Scott, N. L.; dan Workman, E. B., "Estimating Prestress Losses," Concrete International: Design & Construction, V. 1, No. 6, June 1979, hal. 32-38.
- 18.10. Mojtahedi, S., dan Gamble, W. L., "Ultimate Steel Stresses in Unbonded Prestressed Concrete," Proceedings, ASCE, V. 104, No. ST7, July 1978, hal. 1159-1165.
- 18.11. Joint ACI-ASCE Committee 423, "Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons (ACI 423.3R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 25 hal.
- 18.12. Mattock, A. H.; Yamazaki, J.; dan Kattula, B. T., "Comparative Study of Prestressed Concrete Beams, with and without Bond," ACI JOURNAL, Proceedings V. 68, No. 2, Feb. 1971, hal. 116-125.
- 18.13. Odello, R. J., dan Mehta, B. M., "Behavior of a Continuous Prestressed Concrete Slab with Drop Panels," Report, Division of Structural Engineering and Structural Mechanics, University of California, Berkeley, CA, 1967.
- 18.14. Smith, S. W., dan Burns, N. H., "Post-Tensioned Flat Plate to Column Connection Behavior," Journal of the Prestressed Concrete Institute, V. 19, No. 3, May-June 1974, hal. 74-91.
- 18.15. Burns, N. H., dan Hemakom, R., "Test of Scale Model Post-Tensioned Flat Plate," Proceedings, ASCE, V. 103, No. ST6, June 1977, hal. 1237-1255.
- 18.16. Hawkins, N. M., "Lateral Load Resistance of Unbonded Post-Tensioned Flat Plate Construction," Journal of the Prestressed Concrete Institute, V. 26, No. 1, Jan.-Feb. 1981, hal. 94-116.
- 18.17. "Guide Specifications for Post-Tensioning Materials," Post-Tensioning Manual, 5th Edition, Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, 1990, hal. 208-216.

- 18.18. Foutch, D. A.; Gamble, W. L.; dan Sunidja, H., "Tests of Post-Tensioned Concrete Slab-Edge Column Connections," *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 2, Mar.-Apr. 1990, hal. 167-179.
- 18.19. Bondy, K. B., "Moment Redistribution: Principles and Practice Using ACI 318-02," *PTI Journal*, V. 1, No. 1, Jan. 2003, hal. 3-21.
- 18.20. Lin, T. Y., dan Thornton, K., "Secondary Moment and Moment Redistribution in Continuous Prestressed Beams," *PCI Journal*, V. 17, No. 1, Jan.-Feb. 1972, hal. 8-20 and comments by A. H. Mattock and author's closure, *PCI Journal*, V. 17, No. 4, July-Aug. 1972, hal. 86-88.
- 18.21. Collins, M. P., dan Mitchell, D., *Prestressed Concrete Structures*, Response Publications, Canada, 1997, hal. 517-518.
- 18.22. Mast, R. F., "Unified Design Provision for Reinforced and Prestressed Concrete Flexural and Compression Members," *ACI Structural Journal*, V. 89, No. 2, Mar.-Apr. 1992, hal. 185-199.
- 18.23. *Design of Post-Tensioned Slabs Using Unbonded Tendons*, 3rd Edition, Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, 2004, 87 hal.
- 18.24. Gerber, L. L., dan Burns, N. H., "Ultimate Strength Tests of Post-Tensioned Flat Plates," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 16, No. 6, Nov.-Dec. 1971, hal. 40-58.
- 18.25. Scordelis, A. C.; Lin, T. Y.; dan Itaya, R., "Behavior of a Continuous Slab Prestressed in Two Directions," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 56, No. 6, Dec. 1959, hal. 441-459.
- 18.26. Joint ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Slab-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352.1R-89) (Reapproved 2004)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1989, 26 hal.
- 18.27. American Association of State Highway and Transportation Officials, "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications," 3rd Edition, 2004.
- 18.28. Breen, J. E.; Burdet, O.; Roberts, C.; Sanders, D.; Wollmann, G.; and Falconer, B., "Anchorage Zone Requirements for Post-Tensioned Concrete Girders," NCHRP Report 356, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, D.C., 1994.
- 18.29. Joint ACI-ASCE Committee 423, "Specification for Unbonded Single-Strand Tendon Materials and Commentary (ACI 423.7-07)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2007.
- 18.30. "Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges," AASHTO, Washington, DC, 1989, 50 hal.
- 18.31. Gerwick, B. C. Jr., "Protection of Tendon Ducts," *Construction of Prestressed Concrete Structures*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1971, 411 hal.
- 18.32. "Specification for Grouting of Post-Tensioned Structures," 2nd Edition, Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, 2003, 60 hal.
- 18.33. *Manual for Quality Control for Plants and Production of Structural Precast Concrete Products*, 4th Edition, MNL-116-99, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1999.
- 18.34. ACI Committee 301, "Specifications for Structural Concrete (ACI 301-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 49 hal.
- 18.35. Salmons, J. R., dan McCrate, T. E., "Bond Characteristics of Untensioned Prestressing Strand," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 22, No. 1, Jan.-Feb. 1977, hal. 52-65.

18.36. ACI Committee 215, "Considerations for Design of Concrete Structures Subjected to Fatigue Loading (ACI 215R-74)(Revised 1992) (Reapproved 1997)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 24 hal.

18.37. Barth, F., "Unbonded Post-Tensioning in Building Construction," Concrete Construction Engineering Handbook, CRC Press, 1997, hal. 12.32-12.47.

Chapter 19

19.1. ACI Committee 334, "Concrete Shell Structures—Practice and Commentary (ACI 334.1R-92)(Reapproved 2002)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 10 hal.

19.2. IASS Working Group No. 5, "Recommendations for Reinforced Concrete Shells and Folded Plates," International Association for Shell and Spatial Structures, Madrid, Spain, 1979, 66 hal.

19.3. Tedesko, A., "How Have Concrete Shell Structures Performed?" Bulletin, International Association for Shell and Spatial Structures, Madrid, Spain, No. 73, Aug. 1980, hal. 3-13.

19.4. ACI Committee 334, "Reinforced Concrete Cooling Tower Shells—Practice and Commentary (ACI 334.2R-91)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, 9 hal.

19.5. ACI Committee 373, "Design and Construction of Circular Prestressed Concrete Structures with Circumferential Tendons (ACI 373R-97)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1997, 26 hal.

19.6. Billington, D. P., Thin Shell Concrete Structures, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, 1982, 373 hal.

19.7. "Phase I Report on Folded Plate Construction," ASCE Task Committee, Journal of Structural Division, ASCE, V. 89, No. ST6, 1963, hal. 365-406.

19.8. Concrete Thin Shells, SP-28, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1971, 424 hal.

19.9. Esquillan N., "The Shell Vault of the Exposition Palace, Paris," Journal of Structural Division, ASCE, V. 86, No. ST1, Jan. 1960, hal. 41-70.

19.10. Hyperbolic Paraboloid Shells, SP-110, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1988, 184 hal.

19.11. Billington, D. P., "Thin Shell Structures," Structural Engineering Handbook, Gaylord and Gaylord, eds., McGraw-Hill, New York, 1990, hal. 24.1-24.57.

19.12. Scordelis, A. C., "Non-Linear Material, Geometric, and Time Dependent Analysis of Reinforced and Prestressed Concrete Shells," Bulletin, International Association for Shells and Spatial Structures, Madrid, Spain, No. 102, Apr. 1990, hal. 57-90.

19.13. Schnobrich, W. C., "Reflections on the Behavior of Reinforced Concrete Shells," Engineering Structures, Butterworth, Heinemann, Ltd., Oxford, V. 13, No. 2, Apr. 1991, hal. 199-210.

19.14. Sabnis, G. M.; Harris, H. G.; dan Mirza, M. S., Structural Modeling and Experimental Techniques, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1983.

19.15. Concrete Shell Buckling, SP-67, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1981, 234 hal.

- 19.16. Gupta, A. K., "Membrane Reinforcement in Concrete Shells: A Review," Nuclear Engineering and Design, Nofi-Holland Publishing, Amsterdam, V. 82, Oct. 1984, hal. 63-75.
- 19.17. Vecchio, F. J., dan Collins, M. P., "Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Beams Subjected to Shear," ACI JOURNAL, Proceedings V. 83, No. 2, Mar.-Apr. 1986, hal. 219-223.
- 19.18. Fialkow, M. N., "Compatible Stress and Cracking in Reinforced Concrete Membranes with Multidirectional Reinforcement," ACI Structural Journal, V. 88, No. 4, July-Aug. 1991, hal. 445-457.
- 19.19. Medwadowski, S., "Multidirectional Membrane Reinforcement," ACI Structural Journal, V. 86, No. 5, Sept.-Oct. 1989, hal. 563-569.
- 19.20. ACI Committee 224, "Control of Cracking in Concrete Structures (ACI 224R-01)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001, 46 hal.
- 19.21. Gupta, A. K., "Combined Membrane and Flexural Reinforcement in Plates and Shells," Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 112, No. 3, Mar, 1986, hal. 550-557.
- 19.22. Tedesco, A., "Construction Aspects of Thin Shell Structures," ACI JOURNAL, Proceedings V. 49, No. 6, Feb. 1953, hal. 505-520.
- 19.23. Huber, R. W., "Air Supported Forming—Will it Work?" Concrete International, V. 8, No. 1, Jan. 1986, hal. 13-17.

Chapter 20

- 20.1. ACI Committee 214, "Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results (ACI 214.4R-03)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 16 hal.

Chapter 21

- 21.1. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures," ASCE/SEI 7-05, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2005.
- 21.2. "International Building Code," International Code Council, Falls Church, VA, 2006.
- 21.3. Uniform Building Code, V. 2, "Structural Engineering Design Provisions," International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997.
- 21.4. "2003 NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures," Building Seismic Safety Council, Washington, DC, (FEMA 450-CD), 2003.
- 21.5. Blume, J. A.; Newmark, N. M.; dan Corning, L. H., Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1961, 318 hal.
- 21.6. Clough, R. W., "Dynamic Effects of Earthquakes," Proceedings, ASCE, V. 86, No. ST4, Apr. 1960, hal. 49-65.
- 21.7. Gulkan, P., dan Sozen, M. A., "Inelastic Response of Reinforced Concrete Structures to Earthquake Motions," ACI JOURNAL, Proceedings V. 71, No. 12, Dec. 1974, hal. 604-610.
- 21.8. Joint ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002, 37 hal.

- 21.9. Budek, A.; Priestley, M.; dan Lee, C., "Seismic Design of Columns with High-Strength Wire and Strand as Spiral Reinforcement," *ACI Structural Journal*, V. 99, No. 5, Sept.-Oct. 2002, hal. 660-670.
- 21.10. Muguruma, H., dan Watanabe, F., "Ductility Improvement of High-Strength Concrete Columns with Lateral Confinement," *Proceedings, Second International Symposium on High-Strength Concrete*, SP-121, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1990, hal. 47-60.
- 21.11. Sugano, S.; Nagashima, T.; Kimura, H.; Tamura, A.; and Ichikawa, A., "Experimental Studies on Seismic Behavior of Reinforced Concrete Members of High Strength Concrete," *Proceedings, Second International Symposium on High-Strength Concrete*, SP-121, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1990, hal. 61-87.
- 21.12. Joint ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Slab-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352.1R-89) (Reapproved 2004)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1989, 26 hal.
- 21.13. Pan, A., dan Moehle, J. P., "Lateral Displacement Ductility of Reinforced Concrete Flat Plates," *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 3, May-June 1989, hal. 250-258.
- 21.14. Hirosawa, M., "Strength and Ductility of Reinforced Concrete Members," Report No. 76, Building Research Institute, Ministry of Construction, Tokyo, Mar. 1977 (in Japanese). Also, data in *Civil Engineering Studies, Structural Research Series No. 452*, University of Illinois, 1978.
- 21.15. Joint ACI-ASCE Committee 423, "Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons (ACI 423.3R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 21 hal.
- 21.16. Ishizuka, T., dan Hawkins, N. M., "Effect of Bond Deterioration on the Seismic Response of Reinforced and Partially Prestressed Concrete Ductile Moment Resistant Frames," Report SM 87-2, Department of Civil Engineering, University of Washington, Seattle, WA, 1987.
- 21.17. Park, R., dan Thompson, K. J., "Cyclic Load Tests on Prestressed and Partially Prestressed Beam-Column Joints," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, V. 22, No. 3, 1977, hal. 84-110.
- 21.18. Thompson, K. J., dan Park, R., "Seismic Response of Partially Prestressed Concrete," *Journal of the Structural Division, ASCE*, V. 106, No. ST8, 1980, hal. 1755-1775.
- 21.19. Joint ACI-ASCE Committee 423, "Specification for Unbonded Single-Strand Tendon Materials and Commentary (ACI 423.7-07)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2007.
- 21.20. Popov, E. P.; Bertero, V. V.; dan Krawinkler, H., "Cyclic Behavior of Three R/C Flexural Members with High Shear," *EERC Report No. 72-5*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, Oct. 1972.
- 21.21. Wight, J. K., dan Sozen, M. A., "Shear Strength Decay of RC Columns under Shear Reversals," *Proceedings, ASCE*, V. 101, No. ST5, May 1975, hal. 1053-1065.
- 21.22. "Recommended Lateral Force Requirements and Commentary," 6th Edition, Seismology Committee of the Structural Engineers Association of California, Sacramento, CA, 504 hal.
- 21.23. French, C. W., dan Moehle, J. P., "Effect of Floor Slab on Behavior of Slab-Beam-Column Connections," *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance*, SP-123, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, hal. 225-258.

- 21.24. Sivakumar, B.; Gergely, P.; dan White, R. N., "Suggestions for the Design of R/C Lapped Splices for Seismic Loading," *Concrete International*, V. 5, No. 2, Feb. 1983, hal. 46-50.
- 21.25. Watson, S.; Zahn, F. A.; dan Park, R., "Confining Reinforcement for Concrete Columns," *Journal of Structural Engineering*, V. 120, No. 6, June 1994, hal. 1798-1824.
- 21.26. Sakai, K., dan Sheikh, S. A., "What Do We Know about Confinement in Reinforced Concrete Columns? (A Critical Review of Previous Work and Code Provisions)," *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 2, Mar.-Apr. 1989, hal. 192-207.
- 21.27. Park, R., "Ductile Design Approach for Reinforced Concrete Frames," *Earthquake Spectra*, V. 2, No. 3, May 1986, hal. 565-619.
- 21.28. Meinheit, D. F., dan Jirsa, J. O., "Shear Strength of Reinforced Concrete Beam-Column Joints," Report No. 77-1, Department of Civil Engineering, Structures Research Laboratory, University of Texas at Austin, TX, Jan. 1977.
- 21.29. Briss, G. R.; Paulay, T.; dan Park, R., "Elastic Behavior of Earthquake Resistant R. C. Interior Beam-Column Joints," Report 78-13, University of Canterbury, Department of Civil Engineering, Christchurch, New Zealand, Feb. 1978.
- 21.30. Ehsani, M. R., "Behavior of Exterior Reinforced Concrete Beam to Column Connections Subjected to Earthquake Type Loading," Report No. UMEE 82R5, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, July 1982, 275 hal.
- 21.31. Durrani, A. J., dan Wight, J. K., "Experimental and Analytical Study of Internal Beam to Column Connections Subjected to Reversed Cyclic Loading," Report No. UMEE 82R3, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, July 1982, 275 hal.
- 21.32. Leon, R. T., "Interior Joints with Variable Anchorage Lengths," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 115, No. 9, Sept. 1989, hal. 2261-2275.
- 21.33. Zhu, S., dan Jirsa, J. O., "Study of Bond Deterioration in Reinforced Concrete Beam-Column Joints," PMFSEL Report No. 83-1, Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin, TX, July 1983.
- 21.34. Joint ACI-ASCE Committee 326, "Shear and Diagonal Tension," *ACI JOURNAL*, Proceedings V. 59, No. 1, Jan. 1962, hal. 1-30; No. 2, Feb. 1962, hal. 277-334; and No. 3, Mar. 1962, hal. 352-396.
- 21.35. Ehsani, M. R., "Behavior of Exterior Reinforced Concrete Beam to Column Connections Subjected to Earthquake Type Loading," *ACI JOURNAL*, Proceedings V. 82, No. 4, July-Aug. 1985, hal. 492-499.
- 21.36. Meinheit, D. F., dan Jirsa, J. O., "Shear Strength of R/C Beam-Column Connections," *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 107, No. ST11, Nov. 1981, hal. 2227-2244.
- 21.37. Yoshioka, K., dan Sekine, M., "Experimental Study of Prefabricated Beam-Column Subassemblages," *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance*, SP-123, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, hal. 465-492.
- 21.38. Kurose, Y.; Nagami, K.; dan Saito, Y., "Beam-Column Joints in Precast Concrete Construction in Japan," *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance*, SP-123, American Concrete Institute, 1991, hal. 493-514.
- 21.39. Restrepo, J. I.; Park, R.; dan Buchanan, A. H., "Tests on Connections of Earthquake Resisting Precast Reinforced Concrete Perimeter Frames of Buildings," *PCI Journal*, V. 40, No. 4, July-Aug. 1995, hal. 44-61.
- 21.40. Restrepo, J.; Park, R.; dan Buchanan, A., "Design of Connections of Earthquake Resisting Precast Reinforced Concrete Perimeter Frames," *Precast/Prestressed Concrete Institute Journal*, V. 40, No. 5, 1995, hal. 68-80.

- 21.41. Palmieri, L.; Saqan, E.; French, C.; dan Kreger, M., "Ductile Connections for Precast Concrete Frame Systems," *MetA. Sozen Symposium, SP-162*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1996, hal. 315-335.
- 21.42. Stone, W.; Cheok, G.; dan Stanton, J., "Performance of Hybrid Moment-Resisting Precast Beam-Column Concrete Connections Subjected to Cyclic Loading," *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 2, Mar.-Apr. 1995, hal. 229-249.
- 21.43. Nakaki, S. D.; Stanton, J. F.; dan Sritharan, S., "An Overview of the PRESSS Five-Story Precast Test Building," *Precast/Prestressed Concrete Institute Journal*, V. 44, No. 2, hal. 26-39.
- 21.44. ACI Innovation Task Group 1, "Special Hybrid Moment Frames Composed of Discretely Jointed Precast and Post-Tensioned Concrete Members (ITG-1.2-03) and Commentary (ITG-1.2R-03)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003.
- 21.45. ACI Committee 408, "Bond Under Cyclic Loads (ACI 408.2R-92) (Reapproved 2005)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, 5 hal.
- 21.46. Barda, F.; Hanson, J. M.; dan Corley, W. G., "Shear Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements," *Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones, SP-53*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1977, hal. 149-202.
- 21.47. Taylor, C. P.; Cote, P. A.; dan Wallace, J. W., "Design of Slender RC Walls with Openings," *ACI Structural Journal*, V. 95, No. 4, July-Aug. 1998, hal. 420-433.
- 21.48. Wallace, J. W., "Evaluation of UBC-94 Provisions for Seismic Design of RC Structural Walls," *Earthquake Spectra*, V. 12, No. 2, May 1996, hal. 327-348.
- 21.49. Moehle, J. P., "Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes," *Earthquake Spectra*, V. 8, No. 3, Aug. 1992, hal. 403-428.
- 21.50. Wallace, J. W., dan Orakcal, K., "ACI 318-99 Provisions for Seismic Design of Structural Walls," *ACI Structural Journal*, V. 99, No. 4, July-Aug. 2002, hal. 499-508.
- 21.51. Thomsen, J. H., dan Wallace, J. W., "Displacement Design of Slender Reinforced Concrete Structural Walls—Experimental Verification," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 130, No. 4, 2004, hal. 618-630.
- 21.52. Paulay, T., dan Binney, J. R., "Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Walls," *Shear in Reinforced Concrete, SP-42*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1974, hal. 579-598.
- 21.53. Barney, G. B.; Shiu, K. N.; Rabbat, B. G.; Fiorato, A. E.; Russell, H. G.; dan Corley, W. G., *Behavior of Coupling Beams under Load Reversals (RD068.01B)*, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1980.
- 21.54. Priestley, M. J. N.; Sritharan, S.; Conley, J.; dan Pampanin, S., "Preliminary Results and Conclusions from the PRESSS Five-Story Precast Concrete Test Building," *PCI Journal*, V. 44, No. 6, Nov.-Dec. 1999, hal. 42-67.
- 21.55. Perez, F. J.; Pessiki, S.; Sause, R.; dan Lu, L.-W., "Lateral Load Tests of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Walls," *Large Scale Structural Testing, SP-211*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, hal. 161-182.
- 21.56. Restrepo, J. I., "New Generation of Earthquake Resisting Systems," *Proceedings, First fib Congress, Session 6, Osaka, Japan, Oct. 2002*, hal. 41-60.
- 21.57. Wyllie, L. A., Jr., "Structural Walls and Diaphragms — How They Function," *Building Structural Design Handbook*, R. N. White, dan C. G. Salmon, eds., John Wiley & Sons, 1987, hal. 188-215.

- 21.58. Wood, S. L.; Stanton, J. F.; dan Hawkins, N. M., "Development of New Seismic Design Provisions for Diaphragms Based on the Observed Behavior of Precast Concrete Parking Garages during the 1994 Northridge Earthquake," PCI Journal, V. 45, No. 1, Jan.-Feb. 2000, hal. 50-65.
- 21.59. Nilsson, I. H. E., dan Losberg, A., "Reinforced Concrete Corners and Joints Subjected to Bending Moment," Journal of the Structural Division, ASCE, V. 102, No. ST6, June 1976, hal. 1229-1254.
- 21.60. Megally, S., dan Ghali, A., "Punching Shear Design of Earthquake-Resistant Slab-Column Connections," ACI Structural Journal, V. 97, No. 5, Sept.-Oct. 2002, hal. 720-730.
- 21.61. Moehle, J. P., "Seismic Design Considerations for Flat Plate Construction," Mete A. Sozen Symposium: A Tribute from his Students, SP-162, J. K. Wight and M. E. Kreger, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, hal. 1-35.

Appendix A

- A.1. Schlaich, J.; Schäfer, K.; dan Jennewein, M., "Toward a Consistent Design of Structural Concrete," PCI Journal, V. 32, No. 3, May-June 1987, hal. 74-150.
- A.2. Collins, M. P., dan Mitchell, D., Prestressed Concrete Structures, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1991, 766 hal.
- A.3. MacGregor, J. G., Reinforced Concrete: Mechanics and Design, 3rd Edition., Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1997, 939 hal.
- A.4. FIP Recommendations, Practical Design of Structural Concrete, FIP-Commission 3, "Practical Design," Pub.: SETO, London, Sept. 1999.
- A.5. Menn, C., Prestressed Concrete Bridges, Birkhäuser, Basle, 535 hal.
- A.6. Muttoni, A.; Schwartz, J.; dan Thürlimann, B., Design of Concrete Structures with Stress Fields, Birkhäuser, Boston, MA, 1997, 143 hal.
- A.7. Joint ACI-ASCE Committee 445, "Recent Approaches to Shear Design of Structural Concrete (ACI 445R-99)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1999, 55 hal.
- A.8. Bergmeister, K.; Breen, J. E.; dan Jirsa, J. O., "Dimensioning of the Nodes and Development of Reinforcement," IABSE Colloquium Stuttgart 1991, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, 1991, hal. 551-556.

Appendix B

- B.1. Bondy, K. B., "Moment Redistribution—Principles and Practice Using ACI 318-02," PTI Journal, V. 1, No. 1, Jan. 2003, hal. 3-21.
- B.2. Cohn, M. A., "Rotational Compatibility in the Limit Design of Reinforced Concrete Continuous Beams," Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, SP-12, American Concrete Institute/American Society of Civil Engineers, Farmington Hills, MI, 1965, hal. 35-46.
- B.3. Mattock, A. H., "Redistribution of Design Bending Moments in Reinforced Concrete Continuous Beams," Proceedings, Institution of Civil Engineers, London, V. 13, 1959, hal. 35-46.

- B.4. Design of Post-Tensioned Slabs Using Unbonded Tendons, 3rd Edition, Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, 2004, 87 hal.
- B.5. Gerber, L. L., dan Burns, N. H., "Ultimate Strength Tests of Post-Tensioned Flat Plates," Journal of the Prestressed Concrete Institute, V. 16, No. 6, Nov.-Dec. 1971, hal. 40-58.
- B.6. Smith, S. W., dan Burns, N. H., "Post-Tensioned Flat Plate to Column Connection Behavior," Journal of the Prestressed Concrete Institute, V. 19, No. 3, May-June 1974, hal. 74-91.
- B.7. Burns, N. H., dan Hemakom, R., "Test of Scale Model Post-Tensioned Flat Plate," Proceedings, ASCE, V. 103, No. ST6, June 1977, hal. 1237-1255.
- B.8. Burns, N. H., dan Hemakom, R., "Test of Flat Plate with Bonded Tendons," Proceedings, ASCE, V. 111, No. 9, Sept. 1985, hal. 1899-1915.
- B.9. Kosut, G. M.; Burns, N. H.; dan Winter, C. V., "Test of Four-Panel Post-Tensioned Flat Plate," Proceedings, ASCE, V. 111, No. 9, Sept. 1985, hal. 1916-1929.

Appendix C

- C.1. "International Building Code," International Code Council, Falls Church, VA, 2000.
- C.2. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-93)," ASCE, New York, 1993, 134 hal.
- C.3. "BOCA National Building Code," 12th Edition, Building Officials and Code Administration International, Inc., Country Club Hills, IL, 1993, 357 hal.
- C.4. "Standard Building Code, 1994 Edition," Southern Building Code Congress International, Inc., Birmingham, AL, 1994, 656 hal.
- C.5. "Uniform Building Code, V. 2, Structural Engineering Design Provisions," International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997, 492 hal.
- C.6. Mast, R. F., "Unified Design Provisions for Reinforced and Prestressed Concrete Flexural and Compression Members," ACI Structural Journal, V. 89, No. 2, Mar.-Apr. 1992, hal. 185-199.

Appendix D

- D.1. ANSI/ASME B1.1, "Unified Inch Screw Threads (UN and UNR Thread Form)," ASME, Fairfield, NJ, 1989.
- D.2. ANSI/ASME B18.2.1, "Square and Hex Bolts and Screws, Inch Series," ASME, Fairfield, NJ, 1996.
- D.3. ANSI/ASME B18.2.6, "Fasteners for Use in Structural Applications," ASME, Fairfield, NJ, 1996.
- D.4. Cook, R. A., dan Klingner, R. E., "Behavior of Ductile Multiple-Anchor Steel-to-Concrete Connections with Surface-Mounted Baseplates," Anchors in Concrete: Design and Behavior, SP-130, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, hal. 61-122.
- D.5. Cook, R. A., dan Klingner, R. E., "Ductile Multiple-Anchor Steel-to-Concrete Connections," Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 118, No. 6, June 1992, hal. 1645-1665.

- D.6. Lotze, D.; Klingner, R. E.; dan Graves III, H. L., "Static Behavior of Anchors under Combinations of Tension and Shear Loading," ACI Structural Journal, V. 98, No. 4, July-Aug. 2001, hal. 525-536.
- D.7. Primavera, E. J.; Pinelli, J.-P.; dan Kalajian, E. H., "Tensile Behavior of Cast-in-Place and Undercut Anchors in High-Strength Concrete," ACI Structural Journal, V. 94, No. 5, Sept.-Oct. 1997, hal. 583-594.
- D.8. Design of Fastenings in Concrete, Comité Euro-International du Béton (CEB), Thomas Telford Services Ltd., London, Jan. 1997.
- D.9. Fuchs, W.; Eligehausen, R.; dan Breen, J., "Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete," ACI Structural Journal, V. 92, No. 1, Jan.-Feb. 1995, hal. 73-93. Also discussion, ACI Structural Journal, V. 92, No. 6, Nov.-Dec. 1995, hal. 787-802.
- D.10. Eligehausen, R., dan Balogh, T., "Behavior of Fasteners Loaded in Tension in Cracked Reinforced Concrete," ACI Structural Journal, V. 92, No. 3, May-June 1995, hal. 365-379.
- D.11. "Fastenings to Concrete and Masonry Structures, State of the Art Report," Comité Euro-International du Béton (CEB), Bulletin No. 216, Thomas Telford Services Ltd., London, 1994.
- D.12. Klingner, R.; Mendonca, J.; dan Malik, J., "Effect of Reinforcing Details on the Shear Resistance of Anchor Bolts under Reversed Cyclic Loading," ACI JOURNAL, Proceedings V. 79, No. 1, Jan.-Feb. 1982, hal. 3-12.
- D.13. ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-01)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001, 134 hal.
- D.14. Eligehausen, R.; Mallée, R.; dan Silva, J., Anchorage in Concrete Construction, Ernst & Sohn (J. T. Wiley), Berlin, May 2006, 380 hal.
- D.15. Eligehausen, R.; Fuchs, W.; dan Mayer, B., "Load Bearing Behavior of Anchor Fastenings in Tension," Betonwerk + Fertigteiltechnik, 12/1987, hal. 826-832, dan 1/1988, hal. 29-35.
- D.16. Eligehausen, R., dan Fuchs, W., "Load Bearing Behavior of Anchor Fastenings under Shear, Combined Tension and Shear or Flexural Loadings," Betonwerk + Fertigteiltechnik, 2/1988, hal. 48-56.
- D.17. Farrow, C. B., dan Klingner, R. E., "Tensile Capacity of Anchors with Partial or Overlapping Failure Surfaces: Evaluation of Existing Formulas on an LRFD Basis," ACI Structural Journal, V. 92, No. 6, Nov.-Dec. 1995, hal. 698-710.
- D.18. PCI Design Handbook, 5th Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1999.
- D.19. "AISC Load and Resistance Factor Design Specifications for Structural Steel Buildings," Dec. 1999, 327 hal.
- D.20. Zhang, Y.; Klingner, R. E.; dan Graves III, H. L., "Seismic Response of Multiple-Anchor Connections to Concrete," ACI Structural Journal, V. 98, No. 6, Nov.-Dec. 2001, hal. 811-822.
- D.21. Lutz, L., "Discussion to Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete," ACI Structural Journal, Nov.-Dec. 1995, hal. 791-792. Also authors' closure, hal. 798-799.
- D.22. Asmus, J., "Verhalten von Befestigungen bei der Versagensart Spalten des Betons (Behavior of Fastenings with the Failure Mode Splitting of Concrete)," dissertation, Universität Stuttgart, Germany, 1999.
- D.23. Kuhn, D., dan Shaikh, F., "Slip-Pullout Strength of Hooked Anchors," Research Report, University of Wisconsin-Milwaukee, submitted to the National Codes and Standards Council, 1996.

D.24. Furche, J., dan Eligehausen, R., "Lateral Blow-out Failure of Headed Studs Near a Free Edge," Anchors in Concrete—Design and Behavior, SP-130, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, hal. 235-252.

D.25. Shaikh, A. F., dan Yi, W., "In-Place Strength of Welded Studs," PCI Journal, V. 30, No. 2, Mar.-Apr. 1985.



Lampiran A
(informatif)
Deviasi

No.	ACI 318-08	SNI	Keterangan
1.	Pasal 20.3.2: (a) $1,15D + 1,5L + 0,4(L, \text{atau } S \text{ atau } R)$ (b) $1,15D + 0,9L + 1,5(L, \text{atau } S \text{ atau } R)$	Pasal 4.10.1.2.1 : 1) $1,15D + 1,5L + 0,4(L, \text{atau } R)$ 2) $1,15D + 0,9L + 1,5(L, \text{atau } R)$	Snow : dihilangkan Snow : dihilangkan
2.	Pasal 21.13.3: ` ($1,2D + 1,0L + 0,2S$)	Pasal 7.13.3: ` ($1,2D + 1,0L$)	Snow : dihilangkan
3.	Pasal 21.13.6: ` ($1,2D + 1,0L + 0,2S$)	Pasal 7.13.6: ` ($1,2D + 1,0L$)	Snow : dihilangkan
4.	Pasal 21.1.5.2 280 MPa dan 420 MPa	Pasal 7.1.5.2 240 MPa dan 400 MPa	
5.	Pasal 7.13.3 ACI 318-08	Pasal 4.5.1.1.1	
6.	Pasal 10.14 ACI 318-08	Pasal 4.6.2.1.1	
7.	Pasal 12.11.1 ACI 318-08	Pasal 4.6.2.3.1	
8.	Pasal 7.5.2.2 ACI 318-08	Pasal 4.6.2.3.2	
9.	Pasal 7.5.2.1 ACI 318-08	Pasal 4.6.2.3.3	
10.	Pasal 20.3.2 ACI 318-08	Pasal 4.10.1.2.1	
11.	Pasal 20.5 ACI 318-08	Pasal 4.10.2.1	
12.	Pasal 9.5.5 ACI 318-08	Pasal 5.2.7.1	
13.	Pasal 9.5.2.5 ACI 318-08	Pasal 5.2.7.1.4	
14.	Pasal 9.5.4.3 ACI 318-08	Pasal 5.2.7.1.5	
15.	Pasal 11.6.4.3 ACI 318-08	Pasal 5.5.3.3.1	
16.	Pasal 11.6.4	Pasal 5.5.3.4.1	
17.	Pasal 11.6.4.3	Pasal 5.5.3.4.1.3	
18.	Pasal 8.1.6	Pasal 5.5.3.4.1.4	
19.	Pasal 11.6.9	Pasal 5.5.3.4.2	
20.	Pasal 11.6.10	Pasal 5.5.3.4.3	
21.	Pasal 11.4.6.3 ACI 318-08	Pasal 5.6.1.1	
22.	Pasal 11.4.6.4 ACI 318-08	Pasal 5.6.1.2	

No.	ACI 318-08	SNI	Keterangan
23.	Pasal 11.4.6.1 ACI 318-08	Pasal 5.6.1.3	
24.	Pasal 3.5.6 ACI 318 – 08	Pasal 6.1.1.1	
25.	Pasal 10.2.4 ACI 318-08	Pasal 6.3.1.1	
26.	Pasal 3.5.3	Pasal 6.3.1.2	
27.	Pasal 9.5.4 ACI 318-08	Pasal 6.3.5.1	
28.	Pasal 10.6.4 ACI 318-08	Pasal 6.4.4.1.1	
29.	Pasal 10.6.7	Pasal 6.4.4.4.1	
30.	Pasal 10.3.3	Pasal 6.8.1.1	
31.	Pasal 10.3.4	Pasal 6.8.1.2	
32.	Pasal 9.3.2	Pasal 6.8.1.3	
33.	Pasal 10.9.3	Pasal 6.8.1.3.2.1	
34.	Pasal 12.9.1.1	Pasal 6.8.1.3.8	
35.	Pasal 12.9.3	Pasal 6.8.1.3.9	
36.	Pasal 12.9.1	Pasal 6.8.1.3.10	
37.	Pasal 9.5.2.3	Pasal 6.8.2.1	
38.	Pasal 13.2.5	Pasal 6.8.2.2	
39.	Pasal 8.4	Pasal 6.10.4.1.1	
40.	Pasal 9.2.5 ACI 318-08	Pasal 6.13.2.1.1	
41.	Pasal 9.3.2.5 ACI 318-08	Pasal 6.13.2.1.2	
42.	Pasal 3.2 ACI 318-08	Pasal 6.18.2.1.1	
43.	Pasal 3.4 ACI 318-08	Pasal 6.18.2.2.1	
44.	Pasal 3.6 ACI 318-08	Pasal 6.18.2.4.1	
45.	Pasal 12.14.3.2	Pasal 7.1.6.1.1	
46.	Pasal 12.14.3.4	Pasal 7.1.7.1.1	
47.	Pasal 11.4.5.1	Pasal 7.3.5.4.1	
48.	Pasal 11.10	Pasal 7.3.5.5.1	
49.	Pasal 13.6.2.5	Pasal 7.3.6.6.1	
50.	Pasal 7.4	Pasal 7.11.10.1	
51.	Bab 2 ACI 318-08	Pasal 3	

No.	ACI 318-08	SNI	Keterangan
52.	Bab 16 ACI 318-08	Pasal 4	
53.	Bab 17 ACI 318-08	Pasal 5	
54.	Bab 18 ACI 318-08	Pasal 6	
55.	Bab 21 ACI 318-08	Pasal 7	
56.	Bab 14 ACI 318-08	Pasal 8	
57	Pasal R21.3	Pasal R7.3	Snow : dihilangkan
	$U=1,2D + 2,0E + 1,0L+0,2S$	$U=1,2D + 2,0E + 1,0L$	

